

**“OBTENCIÓN DEL GRADO DE DEGRADACIÓN DE
UN SUELO POR ACTIVIDADES AGRÍCOLAS EN LA
ZONA AGUACATERA MICHOACANA”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN
CIENCIAS E INGENIERIA AMBIENTAL**

PRESENTA

I.A. YOSINIA MARTÍNEZ MÉNDEZ

DRA. ICELA DAGMAR BARCELO QUINTAL
Asesora interna

DR. VICTOR MANUEL CETINA ALCALÁ
Asesor externo

MÉXICO, D.F. ABRIL DEL 2015

**Esta tesis forma parte del programa de la
Maestría en Ciencias e Ingeniería Ambientales
de la Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco**

AGRADECIMIENTOS

- Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACYT**) por facilitar los medios Económicos para la realización de este trabajo.
- A la Universidad Autónoma Metropolitana (**UAM**) por forjarme en sus aulas y magnificas Instalaciones.
- Al área de Química y Fisicoquímica Ambiental de la **UAM-Azcapotzalco**, en especial a la **Dra. Icela Dagmar Barceló Quintal**, por permitir realizar este trabajo en sus laboratorios y el uso de la infraestructura y el costo del material empleado en el desarrollo de la tesis, asimismo su asesoría. Al personal del que me brindó su apoyo en el trabajo experimental.
- Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo (**COLPOS**), Estado de México por todas las facilidades otorgadas, en especial al **Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá** por permitir el uso de sus instalaciones y su asesoría, también un agradecimiento al doctor **Roberto Quintero Lizaola**, por la comprensión brindada durante la realización de la tesis
- A la Coordinación de la División de Estudios de Postgrado de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, por todo el apoyo brindado.
- Al **Dr Francisco Estrada Godoy**, A la **M.en C. Julisa García Albortante**, y a aquellos profesores que fungieron como sinodales por su apoyo, sugerencias, comentarios para la mejora de esta tesis

DEDICATORIAS

- A **mis papas**; porque confían en mí, me apoyan y a pesar de los dolores de cabeza que les causo están a mi lado, porque siguen creyendo en mí, porque me impulsan a seguir adelante y lograr mis metas!!!
- A mi nueva familia; **Mary, Miguel, Natalia, el ing. Víctor, Mariana y José Francisco**. Porque ellos están ahí cuando necesito apoyo!!
- De manera especial a mi hermano **Benjamín** por aguantar mis caprichos y tolerar todos mis cambios de humor provocados por el estudio de la maestría!!!
- A **ti**, porque a pesar del tiempo que nos apartamos eres quien provoca buscar más de mí, porque sigo pidiendo que me dures toda la vida!!!
- A **Claudio y Erick**, porque sin ellos, no estuviera aquí!!
- A **Gus y Liz**; por su compañía, porque comprendieron cada uno de mis peores momentos, porque estuvieron conmigo desde el principio hasta el fin, porque sin ellos no hubiera sobrevivido!!!
- A **Danny**; por aguantarme, ayudarme y por toda la paciencia que me tuvo!!!
- A **Gaby y Yonathan**; porque gracias a ellos pude soportar la estancia en el laboratorio!!!

INDICE

Índice de figuras	IX
Índice de cuadros	XII
Resumen.....	XIII
Abstrac.....	IX
Acrónimos	XV

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes	4
1.3 Justificación.....	7

CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1 Hipótesis del proyecto	9
2.2 Objetivos del proyecto.....	9
2.2.1 Objetivo General	9
2.2.2 Objetivos Específicos	10

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

3.1 Suelos	12
3.1.1 Degradación del suelo.....	14
3.1.2 Degradación del suelo en México.....	15
3.1.2.1 Causas de degradación.....	18
3.2 Michoacán.....	19
3.2.1 Cambio en uso de suelo.....	20
3.2.2 Actividad económica.....	21
3.2.3 Franja Aguacatera Michoacana	21

CAPÍTULO 4: CONCEPTOS GENERALES

4.1 Aguacate	25
4.1.1 Origen	26
4.1.2 Clasificación Botánica	27
4.1.3. Clasificación Taxonómica	27
4.1.4 Morfología del aguacate	28
4.1.5 Aspectos edafo-climáticos y agronómicos	30
4.1.6 Fenología del aguacate	31
4.1.7 Manejo Agrícola.....	34
4.1.7.1 Manejo convencional	34
4.1.7.2 Manejo orgánico	36
4.1.7.3 Manejo integrado	37
4.2 El suelo	37
4.2.1 Degradación del suelo	39
4.2.2 Causas de la degradación	40
4.2.2.1 Sobrepastoreo	42
4.2.2.2 Deforestación	42
4.2.2.3 Cambio en uso de suelo	43
4.2.2.4 Malas prácticas agrícolas	44
4.2.2.5 Monocultivos.....	46
4.2.2.6 Desechos industriales.....	47
4.2.3 Tipos de degradación de suelo.....	47
4.2.3.1 Degradación física	47
4.2.3.2 Degradación química	48
4.2.3.3 Degradación biológica	49
4.2.4 Calidad de los suelos	49
4.2.5 Indicadores de la calidad de los suelos	50
4.2.5.1 Indicadores físicos	51
4.2.5.1.1 Color	51
4.2.5.1.2 Textura	52
4.2.5.1.3 Estructura	54

4.2.5.1.4 Densidad aparente (DAP)	53
4.2.5.2 Indicadores químicos	56
4.2.5.2.1 Potencia Redox	57
4.2.5.2.2 pH	57
4.2.5.2.3 Cambio iónico	58
4.2.5.2.4 Movilidad de elementos menores en suelo	59
4.2.5.2.5 Fosforo en suelo	60
4.2.5.2.6 Materia orgánica en suelo (MO)	61
4.2.5.3 Indicadores biológicos	62
4.2.5.3.1 Respiración	62
4.2.6 Ácidos húmicos y fúlvicos	62
4.2.6.1 Huminas	63
4.2.6.2 Ácidos húmicos	64
4.2.6.3 Ácidos Fúlvicos	65
4.2.6.4 Nitrógeno en los ácidos húmicos y fúlvicos	67
4.2.6.5 Estructura molecular de ácidos húmicos	67
4.2.6.6 Función del humus en el suelo y planta	68

CAPÍTULO 5: MATERIALES Y METODOS

5.1 Muestreo de suelos	71
5.1.1 Conservación de las muestras	77
5.2. Caracterización física del suelo	78
5.2.1 Color	78
5.2.2 Granulometría por tamizado	79
5.2.3 Determinación de humedad	80
5.2.4 Densidad aparente del suelo	82
5.2.5 Textura del suelo	83
5.3. Caracterización química del suelo	87
5.3.1 Determinación de pH	87
5.3.2 Conductividad eléctrica y P. REDOX	89
5.3.3 Determinación de la CIC	90
5.3.4 Determinación de M.O.	92

5.3.5 Nitrógeno total	93
5.3.5.1 Digestión de las muestras.....	94
5.3.5.2 Destilación	95
5.3.6 Carbono orgánico	97
5.3.7 Determinación de Metales	99
5.3.7.1 Digestión de las muestras.....	100
5.3.8 Ácidos húmicos y fúlvicos.....	102
5.3.8.1 Extracciones de MOL Y AFL.....	102
5.3.8.2 Extracciones de PFA, PHA, SFA Y SHA	103
5.3.8.3 Extracciones de Ácidos húmicos y fúlvicos	104
5.3.8.4 Cuantificación de extractos.....	104
5.3.9 Fosforo soluble	106
5.3.9.1 Digestión de las muestras.....	106
5.3.9.2 Curva de calibración	106
5.4. Caracterización Biológica del suelo	109
5.4.1 Respiración del suelo CO ₂	109
5.5. Diseño experimental y análisis estadístico	111

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y SU INTERPRETACIÓN

6.1 indicadores físicos	113
6.1.1 Color (Sistema de notación y tabla de colores de Munsell).....	113
6.1.2 Textura	115
6.1.3 Granulometría (tamizado).....	116
6.1.4 Humedad.....	117
6.1.5 Densidad aparente	119
6.1.6 Conductividad Eléctrica	121
6.2 indicadores químicos	122
6.2.1 pH	122
6.2.2 Potencial REDOX	124
6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico	126
6.2.4 Materia orgánica (MO).....	127
6.2.5 Nitrógeno orgánico	129

6.2.6 Carbono orgánico	131
6.2.7 Obtención de la relación carbono nitrógeno C/N	132
6.2.8 Metales.....	133
6.2.8.1 Determinación de cobre (Cu).....	133
6.2.8.2 Determinación de potasio (K).....	135
6.2.8.3 Determinación de hierro (Fe)	136
6.2.8.2 Determinación de Manganeseo (Mn).....	137
6.2.9 Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos	139
6.2.10 Fosforo (P)	142
6.3 Indicadores biológicos	143
6.3.1 Respiración (CO ₂)	143
6.4 Prácticas agrícolas que degradan el suelo	145
6.4.1 Sistemas de manejo de suelo.....	145
6.4.1.1 Convencional.....	145
6.4.2 Malas prácticas agrícolas	146
6.4.3 Tipos de degradación en suelo.....	147

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y COROLARIO

7.1 Conclusiones	150
7.2 Recomendaciones	152
7.3 Corolario.	153

APENDICES

Tablas de resultados	154
Curvas de calibración	157
Resultados estadístico	160

REFERENCIAS

Referencias	167
-------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

3.1 Mapa de Michoacán y sus relieves.....	19
3.2 Distribución geográfica de los municipios productores de aguacate que conforman la franja aguacatera Michoacana (FAM)	23

CAPÍTULO 4: CONCEPTOS GENERALES

4.1 Fruto de aguacate	25
4.2 Árbol y fruto de aguacate	28
4.3 Flor de aguacate	29
4.4 Raíz de aguacate	29
4.5 Cosecha de aguacate.....	31
4.6 Fenología del aguacate	32
4.7 Principales países productores de aguacate	33
4.8 Causas de erosión en el suelo	40
4.9 Principales factores que favorecen la degradación del suelo en México	41
4.10 Deforestación	42
4.11 Aplicación de plaguicidas	45
4.12 Monocultivo de aguacate.....	46
4.13 Efectos de degradación de los suelos en plantas	48
4.14 Clases texturales del suelo y triángulo de las texturas.....	52
4.15 Tamaño de partículas del suelo.....	54
4.16 Diagrama de los intercambios iónicos en las arcillas	59
4.17 Características de los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas	66
4.18 Estructura molecular de los ácidos húmicos	68

CAPÍTULO 5: MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Mapa de la zona de estudio	72
5.2 Muestreo de suelo en un sitio con vegetación Forestal	74

5.3 Muestreo de suelos en huertos de aguacate con manejo convencional	74
5.4 Muestreo de suelos en huertos de aguacate con manejo orgánico	74
5.5 Puntos de muestreo sistemático en los municipios de estudio	75
5.6 Parcela estratificada para muestreo	76
5.7 Sub-muestras recolectadas	76
5.8 Tabla de colores de Munsell.....	78
5.9 Determinación de color.....	78
5.10 Trituración de muestras de suelo.....	79
5.11 Separación de los diferentes cedazos	79
5.12 Muestras de suelos secadas en estufa.....	80
5.13 Mufla	80
5.14 Determinación de la DAP	82
5.15 Perfil de suelo en la región aguacatera	83
5.16 Muestras de suelo en copas de dispersión.....	84
5.17 Muestras de suelo en vaso de batidora	85
5.18 Medición de textura del suelo	85
5.19 Textura del suelo en probeta.....	86
5.20 Determinación de pH en laboratorio	88
5.21 Determinación de CE. en laboratorio.....	89
5.22 Equipo de digestión (NITROGENO KJELDAHL)	95
5.23 Equipo de destilación (NITROGENO KJELDAHL)	96
5.24 Equipo TOC MULTI N/C.....	98
5.25 Muestras sólidas para ser leídas en TOC MULTI N/C	98
5.26 Equipo Absorción Atómica AA.....	99
5.27 Muestras para equipo de microondas	100
5.28 Muestras aforadas para leerse en AA	101
5.29 Equipo de agitación. Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos.....	102
5.30 Equipo de filtración. Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos	103
5.31 Centrifuga. Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos	104
5.32 Diagrama de extracción ácidos húmicos y fúlvicos	105
5.33 Preparación de solución madre molibdovanadato	107
5.34 Longitud de onda y absorbancia máxima en la determinación de fosforo	108
5.35 Curva de calibración para fosforo	108

5.36 Diferentes tipos de suelo. Determinación de CO ₂	109
5.37 Determinación de CO ₂	109
5.38 Muestras tituladas. Determinación de CO ₂	110

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y SU INTERPRETACIÓN

6.1 Colores del suelo en los diferentes sistemas de manejo agrícola en huertos de aguacate.....	114
6.2 Composición porcentual de partículas en los diferentes tratamientos	115
6.3 Distribución porcentual de partículas en los diferentes tratamientos	117
6.4 Composición porcentual de humedad en los diferentes tratamientos	118
6.5 Clasificación de la densidad aparente	119
6.6 Valores de la conductividad eléctrica de los tres suelos con sus respectivas réplicas.....	122
6.7 Valores de pH de los tres suelos con sus respectivas repeticiones	123
6.8 Potencial REDOX en los tres suelos	124
6.9 Análisis del potencial REDOX en los tres suelos	124
6.10 Porcentaje de Materia orgánica en los diferentes tratamientos.....	128
6.11 Porcentaje de Nitrógeno orgánico en los diferentes tratamientos	130
6.12 Porcentaje de Carbono orgánico en los diferentes tratamientos	132
6.13 Resultado de la cantidad de cobre (II) en cada suelo	134
6.14 Resultado de la cantidad de potasio (K) en cada suelo	135
6.15 Resultado de la cantidad de hierro (Fe) en cada suelo	137
6.16 Resultado de la cantidad de manganeso (Mn) en cada suelo	138
6.17 Concentración de COT en los AH de los diferentes suelos	139
6.18 Concentración de NT en los AH de los diferentes suelos	140
6.19 Concentración de COT en los AF de los diferentes suelos	141
6.20 Concentración de NT en los AF de los diferentes suelos	141
6.21 Resultado de la cantidad de fosforo (P) en cada suelo	142
6.22 Resultado de la respiración (CO ₂) de Microorganismos diaria.	144
6.23 Resultado de la respiración (CO ₂) de Microorganismos acumulada en el suelo.....	145

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

3.1 Municipios productores de aguacate que conforman la FAM	15
---	----

CAPÍTULO 4: CONCEPTOS GENERALES

4.1 Clasificación taxonómica del Aguacate	27
4.2 Propiedades importantes de los minerales arcillosos	38
4.3 Propiedades arcillas	53
4.4 Propiedades de las partículas	55
4.5 Características de los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas	66

CAPÍTULO 5: MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Tabla de corrección para temperaturas (Bouyoucos)	86
---	----

CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y SU INTERPRETACIÓN

6.1 Textura de suelo en el estado de Michoacán bajo tres sistemas de manejo ...	115
6.2 Granulometría mediante el uso de mayas tyler.....	116
6.3 Densidad aparente de los diferentes tratamientos	120
6.4 Utilización de los minerales por parte de la microflora del suelo	125
6.5 Valores obtenidos de la capacidad de intercambio catiónico	126
6.6 Clasificación para valores de capacidad de intercambio catiónico	127
6.7 Relación de la calidad de un suelo en función de su contenido de nitrógeno	131
6.8 Resultados en contenido de nitrógeno y carbono en los tres suelos de la región aguacatera de Michoacán	133
6.9 Clasificación de fosforo asimilable	142

RESUMEN

La degradación del suelo, es el resultado de la combinación de varias causas, tales como las actividades agrícolas no adecuadas, la fragilidad de los ecosistemas, contaminación, urbanización, además de un clima variable y agresivo. En 1999 se estimó que 15% del territorio mexicano estaba degradado, mientras que 49% podía considerarse dentro del área de influencia a los procesos de degradación. Las principales causas de la degradación de los suelos en el país son la deforestación, el cambio de uso del suelo, el sobrepastoreo y las prácticas agrícolas ineficientes. En los últimos años, el estado de Michoacán ha mostrado un incremento en la conversión de bosques templados a huertos de aguacate, lo que ha tenido consecuencias importantes en las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, ya que estos presentan un grado de degradación y pérdida de fertilidad edáfica debido a las prácticas de manejo inapropiadas, tales como la agricultura intensiva basada en el monocultivo, la agricultura de subsistencia que se practica en laderas o tierras frágiles, prácticas como la tumba, roza y quema, la deforestación, y el uso excesivo de maquinaria, fertilizantes y agroquímicos, siendo este último uno de los más importantes debido a que la mayor parte de los insumos agrícolas elaborados a través de síntesis química, propician la contaminación de los suelos, la disminución de la biodiversidad genética y facilitan la vulnerabilidad de los cultivo. En este trabajo se presenta el estudio del avance de la degradación a causa de las malas prácticas agrícolas que se realizan y el uso excesivo de agroquímicos de algunos suelos de los municipios que abarcan una zona aguacatera en el estado de Michoacán y que está afectando la producción del aguacate. Para ello se presentan resultados de la caracterización física y química del suelo de una zona aguacatera en el cual se realizan actividades agrícolas convencionales sin control, asimismo un suelo con actividad agrícola orgánica y un suelo con vegetación original que funcionará como testigo. Se ha obtenido la concentración de metales totales nutrientes y contaminantes en el suelo degradado, en el orgánico y en el testigo, asimismo se ha efectuado un estudio de aniones importantes como los fosfatos, nitrógeno total y orgánico.

ABSTRACT

Soil degradation is the result of the combination of several causes, such as inadequate agricultural activities, fragile ecosystems, pollution, urbanization, plus a variable and aggressive climate. In 1999 it was estimated that 15% of Mexico was degraded, while 49% could be considered within the area of influence degradation processes. The main causes of soil degradation in the country are deforestation, changing land use, overgrazing and inefficient agricultural practices. In recent years, the state of Michoacán has shown an increase in the conversion of temperate forests avocado orchards, which has had a significant impact on the physical, chemical and biological soil characteristics, as these have a degree of degradation and loss of soil fertility due to inappropriate practices such as intensive agriculture based on monoculture management, subsistence agriculture is practiced on slopes or fragile lands, practices such as slash and burn, deforestation, and excessive use of machinery, fertilizers and agrochemicals, the latter being one of the most important because the majority of agricultural inputs produced by chemical synthesis, lead to the contamination of soils, decreased genetic diversity and facilitate the vulnerability of the crop. In this work we study the progress of degradation occurs due to poor agricultural practices carried out and excessive use of agrochemicals in some soils of municipalities covering an avocado area in the state of Michoacán and that is affecting production avocado. To this end results of physical and chemical soil characterization of avocado area in which conventional farming uncontrolled performed, and one soil with organic farming and a floor with original vegetation that will work as a witness present. We have obtained the total metal concentration of contaminants and nutrients in the soil degraded in the organic and the witness also has made a study of major anions such as phosphates, total and organic nitrogen.

ACRONIMOS

FAM Franja Aguacatera Michoacana

CE Conductividad eléctrica

FAO Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

AA Absorción Atómica

AFL Ácidos Fúlvicos Libres

CIC Capacidad de intercambio catiónico

CESVO Comité Estatal de Sanidad Vegetal en el Estado de Oaxaca

CIA Capacidad de intercambio aniónico

CICTAMEX Fundación Salvador Sánchez Colín

COLPOS Colegio de Posgraduados

CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

CORPOICA Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

COT Carbono orgánico total

CT Carbono total

CIC Capacidad de Intercambio Catiónico.

CIT carbono inorgánico total

C/N Relación Carbono/Nitrógeno

Cu Cobre

DAP Densidad Aparente

DBCA Diseño de Bloques completamente al azar

EPA Agencia de Protección Ambiental

ONU Organización de las Naciones Unidas

FHIA Fundación hondureña de investigación agrícola

ICBF Instituto Colombiano de bienestar familiar

ICA Instituto Colombiano Agropecuario

INE Instituto Nacional de Ecología

MO Materia Orgánica

MOL Materia orgánica ligera

MT Metales totales

NT Nitrógeno

NOM-021-RECNAT-2000 Norma Oficial Mexicana 021-Recursos Naturales-2000

OPS Organización Panamericana de la Salud

PR Potencial REDOX

S Suelo

SIAP Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera.

SEMARNAT Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

SAGARPA Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

SFA Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios

T1 suelo Forestal

T2 suelo Convencional

T3 Suelo orgánico

UAM Universidad Autónoma Metropolitana

UNAD Universidad Nacional Abierta y a Distancia

CAPÍTULO

1

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La actual preocupación por conservar el medio ambiente comenzó en el siglo XIX, (Sánchez *et al*, 2003) después de que las actividades antropogénicas en las que se incluyen alteraciones al paisaje debido a la utilización de la tierra para la agricultura, provocaran cambios que van desde la mejora en la calidad del suelo hasta la degradación de este, (Homburg y Sandor, 2010).

Entre las manifestaciones de la degradación ambiental, encontramos la degradación del suelo considerada como una de las más graves, ésta es el resultado de la combinación de varias causas, tales como las actividades agrícolas no adecuadas, la fragilidad de los

ecosistemas, contaminación, urbanización, además de un clima variable y agresivo, (Santibáñez y Santibáñez 2007). En 1999 se estimó que 15% del suelo en el territorio mexicano estaba degradado, mientras que 49% podía considerarse dentro del área de influencia de los procesos de degradación; las principales causas de la degradación de los suelos en el país son la deforestación, el cambio de uso del suelo, el sobrepastoreo y las prácticas agrícolas ineficientes, (Ramírez y Pedroza 2007).

Durante los últimos años el estado de Michoacán ha mostrado un incremento en la conversión de bosques templados a huertos de aguacate, lo que ha tenido consecuencias importantes en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, (Espinoza *Et al*, 2012), ya que en estos se observa degradación y pérdida de fertilidad edáfica debido a las prácticas de manejo inapropiadas, (Pajares y Gallardo 2009) tales como la agricultura intensiva basada en el monocultivo, la agricultura de subsistencia que se practica en laderas o tierras frágiles, prácticas como la tumba, roza y quema, la deforestación, y el uso excesivo de maquinaria, fertilizantes y agroquímicos, (SAGARPA 2007-2012), siendo este último uno de los más importantes debido a que la mayor parte de los insumos agrícolas elaborados a través de síntesis química, propician la contaminación de los suelos, la disminución de la biodiversidad genética y facilitan la vulnerabilidad de los cultivos, (Vidales, 2009).

Por otro lado, se reconoce plenamente que el cultivo del aguacate se ha constituido como un detonador de crecimiento económico y generador de empleos, sobre la franja aguacatera michoacana (FAM), la cual está localizada en la sub-provincia fisiográfica tarasca, y ocupa 7,752 kilómetros cuadrados representando 12.9% de la superficie estatal, siendo una región volcánica reciente, (Telliz, 2007). Esta región se ha dividido en 10 zonas con características agroecológicas homogéneas para facilitar su estudio, (Gutiérrez *et al*, 2010), en donde la mayoría de los suelos que la integran se han clasificado según la FAO, como andosoles. Estos suelos se forman durante el intemperismo de tefras y materiales con vidrio volcánico, (Soil Survey Staff, 1999, citado por Alcalá *et al*, 2001), presentan un horizonte A oscuro de gran espesor, son friables con alto contenido de materia orgánica, tienen baja densidad aparente y alta capacidad de retención de agua, (Ishizuka y Black, 1977 citado por Alcalá *et al*, 2001), por lo que ha resultado ser el suelo favorable para el desarrollo del aguacate (*Persea americana* var. Has) perteneciente a la familia de las lauráceas, al género *Persea* y a la especie americana.

Las consecuencias de la conversión de bosques a plantaciones de aguacate en el estado de Michoacán están poco documentadas, a pesar de la creciente necesidad de dicha información para la restauración y el diseño de las estrategias de protección encaminadas a la solución de los problemas ambientales relacionados con las dinámicas agrícolas de las plantaciones de aguacate, (Jaffe, 1997; Echánove, 2008 citado por Espinoza *et al* 2012).

Es así como este trabajo permite conocer la magnitud de la degradación del suelo en una de las 10 zonas de la FAM, además de documentar algunos de los efectos que las actividades agrícolas realizadas en plantaciones de aguacate provocan sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; información que, posteriormente, servirá para implementar estrategias de mitigación evitando el agotamiento de los nutrientes del suelo, la erosión, la contaminación y otras manifestaciones de la degradación que tienen el potencial de dañar irreversiblemente la base de recursos naturales de los que depende la agricultura.

1.2. ANTECEDENTES

En los últimos años se viene prestando atención a los problemas relacionados con la influencia antropogénica sobre las propiedades en los suelos, y entre estos destacan los problemas provocados por el uso agrícola de forma intensiva y continua. Se ha demostrado que los suelos que han estado bajo la influencia de actividades antropogénicas pierden un 50 % de su productividad, (Hernández *et al*, 2001).

La degradación del suelo por erosión acelerada, es un serio problema en países en desarrollo del trópico y sub-trópico como México, donde el manejo del suelo por la agricultura de subsistencia se asocia con la degradación del suelo, teniendo impactos a corto, mediano y largo plazo en la producción de alimentos, en la calidad del ambiente y en el ámbito político y económico. La degradación de los suelos ocurre a nivel local pero está tan ampliamente extendida que se ha convertido en un fenómeno global, en donde se evidencia que el factor antropogénico ha tenido un gran peso en el impacto negativo sobre el suelo, (Cairo *et al*, 2008).

La demanda, cada vez mayor, de alimentos para la población ha conducido a la explotación intensiva de las tierras agrícolas, generalmente basada en la mecanización con tractores y arados inadecuados para determinadas condiciones del suelo, lo que ha generado un agudo proceso de degradación, destacando la pérdida de nutrientes y de suelo. La FAO (1994), señala que una de las causas principales de la degradación de los suelos es, sin duda, la aplicación de técnicas de labranza inadecuadas, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y, más importante aún, el deterioro del ambiente.

La explotación intensiva de los suelos como resultado histórico del mal uso y manejo de las tierras por el hombre, es una de las causas fundamentales de la degradación de las tierras y en ese sentido el desarrollo de tecnologías de laboreo han acelerado los procesos de erosión y de degradación, (Miranda, 2007) así como el empleo de técnicas convencionales (inversión del prisma, monocultivo y fertilización mineral, aplicación de plaguicidas) genera cambios en las propiedades físicas respecto al estado inicial de los suelos (compactación, disminución en la velocidad de infiltración, deterioro de la estructura, etc.) provocando un inadecuado desarrollo de las plantas generadas por la compactación del suelo, costra superficial, impermeabilización, etc, (Ruiz *et al*, 2007).

La reducción drástica de los nutrientes, materia orgánica y disminución de la actividad de los microorganismos del suelo y la biomasa vegetal son problemas muy comunes cuando son empleados sistemas convencionales de producción, (San Martín, 1995; Restrepo, 1995; Arteaga *et al.*, 1995; Rosset, 1999; García, 2000, citados por de León *et al*, 2005). Un caso nacional que llama la atención es el cambio de uso del suelo en terrenos forestales en la franja aguacatera del estado de Michoacán (FAM) ya que este fruto ha detonado el crecimiento económico y la creación de empleos en a nivel nacional logrando una alta competitividad en los mercados internacionales; pero al mismo tiempo ha traído impactos ambientales adversos entre los que destacan la disminución de las superficies boscosas con sus efectos negativos en el sistema hidrológico y el elevado uso de agroquímicos (contaminación), (Videla, 2008).

Una de las afectaciones menos visibles en el suelo es la pérdida de biodiversidad con la subsecuente destrucción de la materia orgánica (MO.), la cual es uno de los factores más importantes en el control de las características físicas del suelos, además de ser una fuente de nutrientes esenciales para la producción de biomasa microbiana. Con la pérdida de las

calidades principales que caracterizan a los suelos, estos, desarrollan fenómenos negativos de características diversas hacia el interior del suelo, que propician procesos degradantes como la erosión, la salinidad y la desertificación. (Ruiz *et al*, 2007)

La idea de sostenibilidad agrícola con los menores efectos sobre el ambiente y los recursos naturales, ha reorientado al mundo científico a promover tecnologías que en lo esencial responden a la complejidad de los sistemas de cultivos en cada localidad, (Altieri, 1999; León *et al*, 2005). Actualmente se busca un suelo de óptimas condiciones físicas, químicas y biológicas mediante prácticas adecuadas que imitan en lo posible a la naturaleza (suministro de materia orgánica, cobertura vegetal, labranzas apropiadas, etc.), evitando araduras muy profundas, el uso excesivo de maquinarias pesadas y el uso de agroquímicos, entre otros, (Kolmans y Vásquez, 1996; León *et al* 2005).

El estudio del suelo debe aportar herramientas para el desarrollo de actitudes conservacionistas. Se trata entonces de buscar alternativas sostenibles que eviten la degradación de un recurso tan importante como lo es el suelo, (León *et al* 2005). Un manejo ecológico influye positivamente en el estado del suelo mejorando los indicadores afectados por el manejo convencional mostrando una alternativa para la recuperación de los suelos, (Ruiz *et al*, 2007).

1.3. JUSTIFICACIÓN

Los alimentos a nivel mundial provienen en un 90% de sistemas agrícolas y este porcentaje crece conforme se agotan la pesca y los ecosistemas oceánicos naturales. Debido a esto, grandes cantidades de tierra están siendo utilizadas para cultivos masivos, los cuales erosionan fuertemente al suelo. El uso frecuente de fertilizantes y plaguicidas sin una dosificación adecuada por los giros agrícolas contaminan y empobrecen los suelos, ya que la planta no asimila completamente la sustancia química, provocando infertilidad y erosión, además el riego y la lluvia conduce el exceso a los cuerpos acuáticos, ocasionando contaminación.

CAPÍTULO

2

CAPÍTULO 2

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. HIPÓTESIS

Las malas prácticas agrícolas y el uso excesivo de agroquímicos degradan y contaminan los suelos de las huertas aguacateras.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el nivel de la degradación del suelo causado por las actividades agrícolas que utilizan en exceso agroquímicos en una zona aguacatera del estado de Michoacán.

2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ❖ Caracterizar física, química y biológicamente el suelo de una zona aguacatera en el cual se realizan actividades agrícolas convencionales sin control, asimismo un suelo con actividad agrícola orgánica y un suelo con vegetación original que funcionará como testigo.
- ❖ Aplicar metodologías de especiación de huminas en el suelo con manejo agrícola convencional, en otro donde realizan métodos de producción orgánica y en un suelo forestal como testigo con vegetación original, y comparar la calidad de las huminas para la evaluación del suelo degradado.
- ❖ Evaluar la presencia de microorganismos benéficos en suelos con actividades agrícolas convencionales, orgánicas y sobre el suelo con vegetación original.
- ❖ Obtener la concentración de metales totales nutrientes y contaminantes en el suelo degradado, en el orgánico y en el testigo, para completar el estudio de calidad con el objetivo anterior.
- ❖ Identificar que metales contaminantes se encuentran en concentraciones que afecten la calidad agrícola del suelo.
- ❖ Efectuar un estudio de aniones importantes como los fosfatos, nitrógeno total y orgánico
- ❖ Evaluar la magnitud de la degradación del suelo que se desea estudiar en función de los objetivos anteriores y su comparación con el suelo orgánico y el suelo testigo.
- ❖ Identificar las actividades agrícolas que aceleran la degradación del suelo problema.
- ❖ Proponer alternativas de manejo en suelos, como control de agroquímicos, tipo de riego, y como restaurarlo para su uso como suelo aguacatero.

CAPÍTULO

3

CAPÍTULO 3

ESTADO DEL ARTE

3.1. SUELOS

La **FAO (2009)**, Indica que la investigación en la ciencia del suelo no es más que la comprensión de la naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas.

FAO (2005); Señala que el recurso suelo no goza del mismo reconocimiento, ni del mismo aprecio que los demás recursos naturales como por ejemplo, las aguas, los bosques, o los yacimientos minerales, porque no es un bien directamente consumible y porque existe la creencia común pero errónea de que los suelos son renovables a escala humana. Posiblemente es por esta razón que la sociedad se siente menos preocupada por la degradación de los suelos que por el agotamiento de otros recursos naturales.

SEMARNAT (2005); El suelo, es la parte exterior de la corteza terrestre está constituido por una capa de material fragmentario no consolidado; es un sistema complejo que se forma por la interacción continua y simultánea de la materia a partir del cual se origina, del clima, del tipo de vegetación y fauna además de las condiciones particulares del relieve. Sentís (2005) En la actualidad es el componente más importante para la alimentación y la producción, por estas razones la preservación de este recurso natural es fundamental para la protección del medio ambiente, y garantizar que las poblaciones tengan una suficiencia alimentaría.

Correa (2005); Los suelos son afectados por las actividades humanas, como la industrial, municipal y agrícola, que a menudo resulta en la degradación del suelo y pérdida o reducción de sus funciones, este se ajusta a las condiciones del clima, la topografía y la vegetación. En él se realizan muchas y complicadas actividades químicas, físicas y biológicas; determina los organismos que en él se encuentran y que a la vez lo modifican.

Sentís (2005); Menciona que en la actualidad, el suelo, es el componente más importante para la alimentación y la producción, por estas razones la preservación de este recurso natural es fundamental para la protección del medio ambiente, y garantizar que las poblaciones tengan una suficiencia alimentaría.

Astier (2001); El proceso de formación del suelo comienza con la desintegración de la roca madre que está expuesta en la superficie de la corteza terrestre a partir del rompimiento físico y químico ocasionado por las lluvias, el viento, la exposición al sol y la actividad mecánico-biológica de raíces de las plantas. En el caso de la actividad biológica, las cianobacterias y los líquenes son los primeros colonizadores del sustrato rocoso, ya que liberan ácidos orgánicos débiles, como el ácido carbónico, que disuelve lentamente la roca madre. Después, el efecto mecánico del crecimiento de las raíces acelera la ruptura de las rocas, además de que la presencia de las plantas permite una gran actividad de micro y meso-organismos y la acumulación de materia orgánica en diferentes estados de descomposición, la cual también contribuye a la formación del suelo.

UNCCD (2008); En México el 52.4% del territorio nacional está cubierto por suelos someros y poco desarrollados: Leptosoles (54.3 millones de hectáreas), Regosoles

(26.3 millones de hectáreas) y Calcisoles (20 millones de ha), lo cual dificulta su aprovechamiento agrícola y aumenta su vulnerabilidad. Los suelos con mayor fertilidad (Phaeozems, Luvisoles, y Vertisoles; 22.5, 17.3 y 16.5 millones de hectáreas, respectivamente) cubren en conjunto 29.4% del país. En el resto del territorio (35 millones de hectáreas) se presenta una alta diversidad edáfica, encontrándose los otros 20 grupos distribuidos en un gran número de microrelieves, microclimas y tipos de vegetación.

3.1.1. DEGRADACIÓN DEL SUELO

Papendick y Parr (1992); En muchos países del mundo, los suelos se están degradando a un ritmo alarmante, provocando que la capa superior del suelo se pierda a una tasa que excede con mucho la capacidad de los procesos naturales para regenerarla. Con la degradación del suelo, hay una disminución concomitante en la calidad del suelo, es decir se reduce la capacidad de la tierra para producir cultivos sanos y nutritivos, resistir la erosión y reducir el impacto del estrés ambiental en las plantas.

Charman y Murphy (2007); La degradación del suelo es la disminución de la calidad y/o la cantidad de este causada por su uso indebido, por lo general con fines agrícolas, es un grave problema ambiental global y puede ser exacerbada por el cambio climático. Abarca deterioro físico, químico y biológico.

Reynolds et al (2005); Ejemplos de la degradación del suelo son la pérdida de materia orgánica, la disminución de la fertilidad del suelo y de la condición estructural, la erosión, los cambios adversos en la salinidad, la acidez o la alcalinidad, y los efectos de los productos químicos tóxicos, contaminantes e inundaciones excesivas.

Sanders (1992); El problema de la degradación de la tierra no es nuevo, pero nunca antes ha sido tan generalizado o afectado las vidas de tantas personas. La necesidad de una evaluación mundial de la degradación de la tierra se puso de relieve por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en 1972.

Desde entonces, se han hecho varios intentos de desarrollar metodologías que permitan la evaluación sistemática y el seguimiento de la degradación de la tierra.

ONU (2011); En su conferencia anual, nos hace conocer que en el mundo más de 110 países sufren problemas relacionados con la desertificación la cual según la Convención de las Naciones Unidas de la Lucha contra la Desertificación define a ésta como **“la degradación de las tierras resultante de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas”**.

Ki-Moon (2011); Las malas prácticas de gestión y al cambio climático, ocasionan que cada año se pierda suelo productivo por causa de la desertificación. Está previsto que la población de la Tierra en 2050 será de 9 mil millones de personas, lo que requerirá un aumento la producción mundial de alimento del 70%. Cada minuto se pierden 23 hectáreas de tierra productiva a causa de la degradación del suelo, lo que en un año equivale a una pérdida de 12 millones de hectáreas. Más del 50% de las tierras agrícolas se encuentran en situación de moderada a severamente degradadas.

3.1.2. DEGRADACIÓN DEL SUELO EN MÉXICO.

La **SEMARNAT Y CHAPINGO (2003)**, determinaron que la degradación del suelo ocurre como resultado de múltiples factores ambientales y socioeconómicos entre los que se encuentran la topografía, el clima, los sistemas de producción y de tenencia de la tierra, las políticas públicas y el mercado. Difícilmente se ha identificado que sea un sólo factor el que desencadena la degradación del suelo y la pérdida de la cubierta vegetal, aunque en prácticamente todos los casos el factor dominante son las actividades humanas a través del cambio de uso del suelo, que sustituye la vegetación natural por terrenos para las actividades agrícolas y ganaderas.

Cotleer (2007); Indicó que cuando se habla de degradación de suelo, los especialistas y la propia población asentada en el área degradada, buscan alternativas que permitan la recuperación y conservación del recurso edáfico y con él, los beneficios que se obtienen de los ecosistemas, aunque esto no siempre es

sencillo. Debido a que se requiere de interés, conocimiento y recursos económicos que en muchos de los casos no se tienen de manera inmediata.

INEGI (2012); En México la degradación del suelo forma parte de un problema de orden nacional en los suelos de usos agropecuarios y forestales. Las primeras estimaciones nacionales sobre la degradación de los suelos se realizaron a mediados de los años cuarenta y los esfuerzos más recientes se iniciaron en la década de los noventa en donde se realizó una evaluación de los procesos relacionados con las actividades humanas que degradan el suelo.

SEMARNAT (2003); El problema total de la degradación abarca cerca del 64% de los suelos del país presentando afectación por algún proceso de degradación en diferentes niveles, este problema afecta a dos de cada tres hectáreas, resultando en una pérdida anual del 10% del Producto Interno Bruto (PIB) (INEGI, 2012). En cuanto a la degradación causada por el hombre, se reveló un total del 45.2% de los suelos del país, en donde el nivel de degradación predominante va de ligero a moderado, en donde los procesos más importantes de degradación son la química (principalmente por la pérdida de fertilidad), la erosión hídrica y la erosión eólica.

La FAO y el PNUMA (2001); Aceptan dos procesos de degradación; la degradación química y biológica. La primera es definida como ***“los procesos tales como la lixiviación de bases, la acidificación, la actividad negativa de elementos como el aluminio y el hierro, la polución y toxicidad generada por diferentes iones presentes en la solución del suelo”***, Steiner, (1996) citado por López, (2002). Mientras que, la degradación biológica esta frecuentemente relacionada con el agotamiento o pérdida de la cobertura vegetal a par de la materia orgánica y la disminución de los organismos benéficos del suelo.

SEMARNAT (2005); México ha realizado numerosos esfuerzos para prevenir y controlar la degradación de suelos: en 1997 surge la Red Mexicana de Esfuerzos contra la Desertificación y la Degradación de los Recursos Naturales (RIOD-Méx) que agrupa a 46 organizaciones no gubernamentales, organizaciones de productores y representantes del sector académico, quienes en un esquema de corresponsabilidad entre el gobierno y la sociedad realizaron diferentes acciones tendientes a la elevación de la conciencia sobre la gravedad del problema de la

degradación de tierras, así como hacia el fortalecimiento de las capacidades locales y regionales para enfrentar esta problemática y sus efectos. En ese entonces, SEMARNAP preparó un Mapa de la Evaluación de la Degradación del Suelo a escala 1:4,000,000 que sirvió como base para una evaluación más detallada en 1999 (a escala 1:1,000,000) siguiendo la metodología GLASOD (Global Assessment of Soil Degradation, 1988). En esta evaluación, el país fue dividido en unidades fisiográficas homogéneas en topografía, clima, vegetación, geología, suelo y uso del suelo; cada unidad fue visitada y se evaluó el tipo y la intensidad de la degradación del suelo estimando visualmente el porcentaje de la unidad en condiciones de degradación.

SEMARNAT (2005); Muestra una metodología en la que se reconocen dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo: la degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causal a la erosión hídrica o eólica y la degradación resultante de su deterioro interno, que considera a los procesos de degradación química, física y biológica. Esta última fue estimada a partir de la evaluación de las quemadas agropecuarias y de incendios forestales.

INIFAP (2001); En 2001, como parte del Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2000-2006 que realiza la SEMARNAT, se llevó a cabo el proyecto “Evaluación de la Degradación de los Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana a escala 1:250,000”, en colaboración con el Colegio de Postgraduados. Su elaboración se hizo a partir de una valoración directa de los suelos de México en campo y se basó en la metodología de Evaluación de la Degradación del Suelo causada por el hombre, propuesta por Van Lyden y Oldeman, conocida como ASSOD y promovida por la FAO (Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation, 1997), la cual se fundamenta en la metodología de GLASOD con algunas modificaciones.

3.1.2.1. CAUSAS DE DEGRADACIÓN

COLPOS y SEMARNAT (2003); Entre las principales causas de degradación en México se identificaron el cambio de uso del suelo para fines agrícolas y el sobrepastoreo (17.5% en ambos casos). La deforestación (7.4%) ocupa el tercer lugar, seguida de la urbanización (1.5%). Todas estas causas tienen una importante relación con la afectación de la cubierta vegetal, responsable de la conservación del suelo.

LEGEEPA (2009); El cambio del uso del suelo es definido por el reglamento de la LGEEPA en materia de evaluación del impacto ambiental, como: ***“modificación de la vocación natural o predominante de los terrenos, llevada a cabo por el hombre a través de la remoción total o parcial de la vegetación”***.

LGDFS (2009); En los últimos años se han observado diversos cambios en el uso del suelo, sin embargo un gran porcentaje se destinan áreas forestales para actividades agropecuarias, lo que ocasiona deforestación y, con ello, el aumento en la degradación de los suelos. Actualmente el cambio de uso de suelo debe de ser autorizado por Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS).

Masera et al (1997); señala que nuestro país ocupa los primeros lugares en deforestación a nivel mundial; para inicios de los años noventa se perdían anualmente 720 000 hectáreas de bosques, selvas y vegetación semiárida Bocco et al, (2001). Existen asimismo más de 22 millones de hectáreas de áreas originalmente forestales que están actualmente degradadas.

SEMARNAT (1996); Los patrones de deforestación varían notablemente por regiones, cerca del 80% se encuentra concentrado en las regiones centro y sur del país. Algunos de los procesos más intensos de deforestación y cambio de uso del suelo se han reportado en el estado de Michoacán.

3.2. MICHOACÁN

INEGI (2006); El Estado de Michoacán se localiza en la parte centro occidente de la República Mexicana, sobre la costa meridional del Océano Pacífico, entre los 17°54'34" y 20°23'37" de latitud Norte y los 100°03'23" y 103°44'09" de longitud Oeste. Colinda con el estado de Jalisco al noroeste, al suroeste con Colima, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con el Estado de México, al sureste con Guerrero y al suroeste con el Océano Pacífico, cubre una extensión de (59,864 km²) que representa alrededor del 3% de la superficie total del territorio nacional.

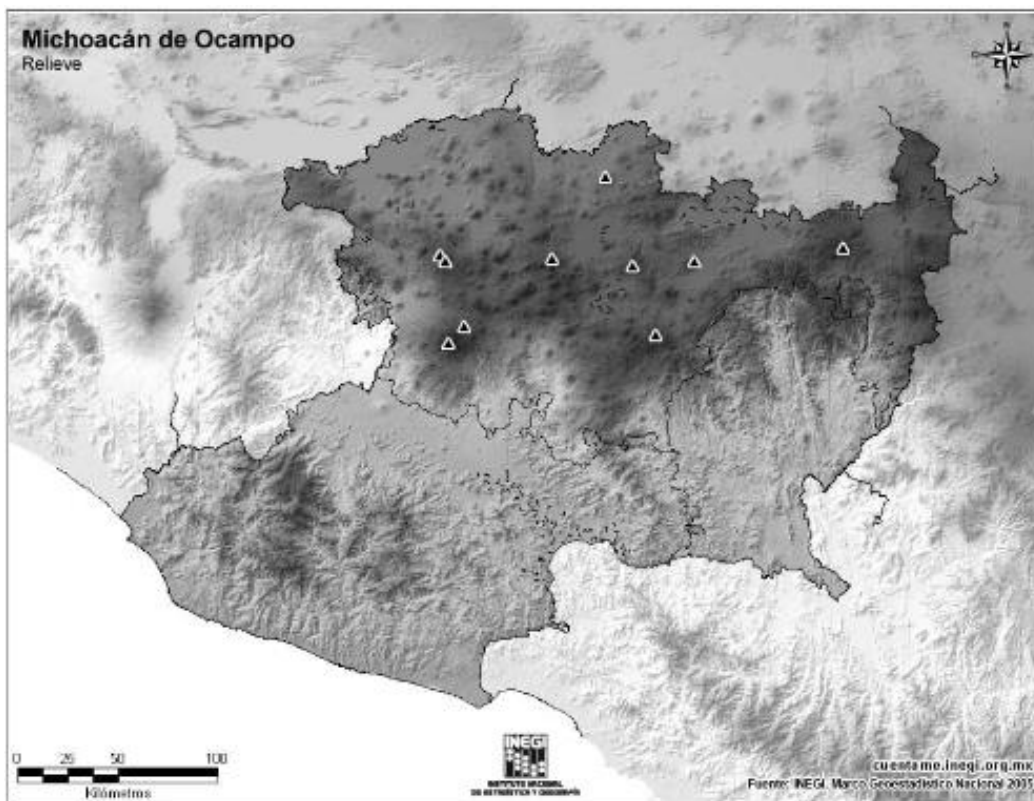


Figura 3.1: Mapa de Michoacán y sus relieves.

Flores E. (1989); indica que en Michoacán se encuentran la mayor parte de las unidades geográficas y paisajísticas con que se ha tipificado la corteza terrestre:

sierras sumamente arrugadas tanto por plegamientos y fallas como por erupción de volcanes convertidos en montañas con cima a diferentes alturas; valles intermontaños, intermedios y bajos; mesetas, precipicios, cañadas, depresiones, planicies o llanuras, laderas, lomeríos ondulados, zonas lacustres, áreas semidesérticas, playas y taludes que se clavan en las aguas del mar.

Flores E. (1989); también observó que los relieves de Michoacán conllevan una amplia variedad de climas, vegetaciones, fauna y calidades de suelo que influyen fuertemente en la distribución y carácter de la población, en la red de vías de comunicación y en la gran variedad de actividades económicas, particularmente las agrícolas, manufactureras, industriales, comerciales, turísticas, pesqueras, forestales, etc.

Sáenz (2009); Propone que la importancia de este estado radica en su riqueza cultural y social, así como su gran variedad de recursos naturales, resultado de su contrastante orografía y situación geográfica antes mencionada, que se manifiesta en una gran diversidad biológica y de expresiones en todos los ámbitos.

3.2.1. CAMBIO EN USOS DE SUELO

Telliz (2009); Establece que el uso actual de la tierra, ya sea agrícola o no implica en donde el suelo es localizado. El uso de la tierra tiene gran influencia en la dirección y en la tasa de formación del suelo.

Chávez (2009); Estudio la problemática del estado de Michoacán, donde indica que ha sufrido intensos cambios de uso de suelo durante las últimas décadas. Sus tasas de deforestación están entre las más altas de México y Latinoamérica. Entre 1976 y 2000, más de 200,000 hectáreas de bosque templado y 300,000 de selva fueron desmontadas en Michoacán; 8,500 y 12,500 hectáreas por año en promedio, lo que representa tasas de deforestación anuales de 0.47 y 0.65, respectivamente.

Bustos et al (2008); A su vez señala que una de las principales actividades que propiciaron el cambio del uso de suelo fue la producción de aguacate. El aumento de la superficie cultivada ha ocurrido principalmente en suelos volcánicos originalmente cubiertos por vegetación forestal, entre los 1,500 y 3,000 m de altitud. En muchos casos, el aguacate se estableció en terrenos dedicados previamente a otros cultivos, principalmente maíz de temporal. En otros casos se realizó un cambio de uso del suelo en terrenos forestales, realizándose de manera irregular, modificando las propiedades de los ecosistemas más rápido de lo que normalmente ocurriría.

3.2.2 ACTIVIDAD ECONÓMICA

APEAM (2010); El cultivo de aguacate es uno de los pilares de la economía del Estado de Michoacán, dado que genera una derrama económica del orden de los 750 millones de pesos al año, y genera más de 40 mil empleos permanentes y 60 mil estacionales por actividades indirectas. La superficie cultivada con aguacate en Michoacán se ha expandido a un ritmo acelerado a partir de 1997, cuando se reanudaron las exportaciones de aguacate a Estados Unidos de Norte América, de tal forma que entre dicho año y 2006 la superficie cultivada se incrementó en 37%, alcanzando una cifra de cerca de 90 mil hectáreas.

3.2.3 FRANJA AGUACATERA MICHOACANA (FAM)

APROAM (2011); La franja Aguacatera del estado de Michoacán es una región volcánica reciente que ocupa 7,752 kilómetros cuadrados y representa el 12.9% de la superficie estatal. El clima relevante es templado, húmedo y sub-húmedo, con temperatura media de 8 a 21 grados centígrados y una precipitación anual de 1200 a 1600 mm. También tiene una zona de transición (sub tropical) entre trópico-seco y zona templada.

Tabla 3.1: Municipios productores de aguacate que conforman la franja aguacatera en Michoacán

	Municipio	Superficie (ha)	% del total
1	Tancítaro	15,177.00	17.7
2	Uruapan	14,878.00	17.4
3	Peribán de Ramos	12,839.00	15.0
4	Ario de Rosales	8,000.00	9.3
5	Tacámbaro	7,401.50	8.6
6	Nuevo Parangaricutiro	5,688.00	6.6
7	Salvador Escalante	5,291.00	6.2
8	Tingüindín	3,684.00	4.3
9	Los Reyes	2,849.00	3.3
10	Nuevo Zirosto (pertenece a Uruapan)	1,720.00	2.0
11	Turicato	1,455.00	1.7
12	Tingambato	1,415.00	1.7
13	Ziracuaretiro	1,120.00	1.3
14	Zitácuaro	995.00	1.2
15	Acuitzio	690.00	0.8
16	Tangamandapio	575.00	0.7
17	Apatzingán	448.82	0.5
18	Cotija	410.00	0.5
19	San Andrés Corú (pertenece a Ziracuaretiro)	318.00	0.4
20	Tocumbo	285.00	0.3
21	Villa Madero	262.00	0.3
22	Taretan de Michoacán	208.00	0.2
Total		85,709.32	100

Gutiérrez et al (2010); Los 22 municipios que conforman la franja aguacatera se encuentran establecidos en altitudes entre 1100 y 2900 msnm, en siete tipos de suelos, 10 climas, temperaturas medias de 16-24°C, precipitación anual entre 800 y 1500mm, y humedad relativa predominante de 90%. Esta área aguacatera no está libre de la ocurrencia de granizadas y heladas.

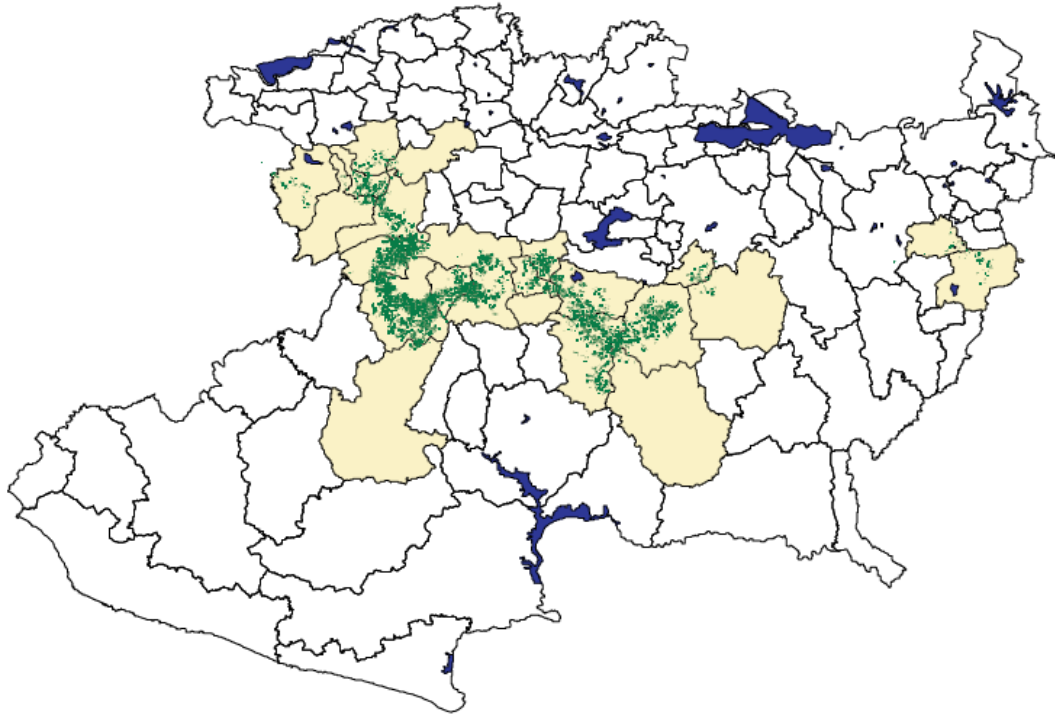


FIGURA 3.2: Municipios productores de aguacate que conforman la franja aguacatera en Michoacán

CAPÍTULO

4

CAPÍTULO 4

CONCEPTOS GENERALES

4.1 AGUACATE



Figura 4.1: Fruto de aguacate

El aguacate es un fruto delicioso que enriquece el sabor, contenido, vista y placer en el consumo de muchos platillos, además genera beneficios entre productores, comercializadores, industrializadores y consumidores.

La producción de este, es generador de empleo, además de ser de importancia en el mercado internacional, (Telliz y Marroquín 2007).

4.1.1 ORIGEN

México es el centro de origen del aguacate (*Persea americana* Mill.). La evidencia más antigua del consumo de esta fruta data de 10,000 años A. C. y fue encontrada en una cueva localizada en Coxcatlán, Puebla.

El origen del aguacate tuvo lugar en las partes altas del centro y este de México, y partes altas de Guatemala. Esta misma región está incluida en lo que se conoce como Mesoamérica, y también es considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo, (CITAMEX 2010).

El primer documento escrito en América y que trata del aguacate es el de Martín Fernández de Enciso titulado: Suma de Geografía, publicado en 1519 en Sevilla España, quien encontró y probó el aguacate en Yaharo, Colombia en 1519. Refiriéndose al fruto afirmó que:

“se parece a una naranja y cuando se parte para comérselo es de color amarillo: lo que hay dentro, es como mantequilla tiene un sabor delicioso y deja un gusto tan blando y tan bueno que es algo maravilloso”

(Telliz y Marroquín 2007).

4.1.2 CLASIFICACIÓN BOTÁNICA.

El aguacate (*Persea americana* Mill) es un miembro de la antigua y numerosa Familia vegetal de las Lauráceas, la cual comprende poco más de 50 géneros entre los que se encuentra *Persea*, (Sánchez, 1999).

La Familia *Lauraceae* está compuesta aproximadamente de 2200 especies. Las cuales mayormente son tropicales y subtropicales, (Bergh y Ellstrand, 1986.)

El género *Persea* tiene un número desconocido de especies, aunque algunos autores aseguran que son unas 80 las reconocidas como válidas, (Sánchez 1999).

El género está constituido por dos subgéneros, uno de ellos, *Persea*, contiene unas pocas especies estrechamente relacionadas entre sí, incluyendo a *P. americana*, el aguacate comercial, (Bergh y Ellstrand, 1986.).

4.1.3 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Tabla 4.1: Clasificación Taxonómica del aguacate.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lurales
Familia	Laurácea
Género	<i>Persea</i>
Especie	<i>P.americana</i>

(Sánchez 1999)

4.1.4 MORFOLOGÍA DEL AGUACATE.

Árbol: Es un árbol extremadamente vigoroso (tronco potente con ramificaciones vigorosas), pudiendo alcanzar hasta 30 m de altura, sin embargo, cuando se cultiva no se deja crecer más de 5 metros, para facilitar las prácticas de control fitosanitario, cosecha, poda y fertilización foliar. Es de tronco grueso y hojas alargadas alternas, pedunculadas, muy brillantes que terminan en punta en la parte alta del tronco. Tiene varias ramificaciones, que generan un follaje denso. El aguacate es considerado un producto perenne debido a que se cultiva durante todo el año, (Jiménez, 2005).



Figura 4.2: Árbol y fruto de aguacate

Fruto: El fruto es una drupa, en forma de pera, de color verde claro a verde oscuro y de violeta a negro, cáscara rugosa con una pulpa verde amarillenta y un hueso central muy grande. Existen aproximadamente unas 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de formas y pesos diferentes, que pueden llegar a pesar de 150 a 350gr, (SAGARPA, 2011)

Flor: Las flores del aguacate son bisexuales, es decir, presentan estambres y pistilos al mismo tiempo y miden aproximadamente 10 mm de diámetro. Presentan simetría radial y se producen en grandes cantidades. Cada árbol genera grupos de flores de manera continua, por lo que la floración es constante durante semanas e incluso meses, (Ish-Am y Eisikowitch, 1991; Chanderbali *et al.*, 2008). La flor abre

dos veces, en cada ocasión por varias horas. En la segunda apertura el diámetro de la flor aumenta 10% con respecto al original, (Gazit y Degani, 2002).



Figura 4.3: flor de aguacate

Raíz: La raíz es muy superficial, en las primeras etapas del aguacate se desarrolla de manera radical pivotante (desarrollo dominante de la raíz primaria hacia zonas profundas del suelo). Mientras que los arboles adultos presentan una amplia distribución de raíces tanto en sentido horizontal como vertical, esta raíz carece de pelos radicales, (Salazar, 2002).



Figura 4.2: Raíz de aguacate

4.1.5. ASPECTOS EDAFOCLIMÁTICOS Y AGRONÓMICOS.

Altitud: El aguacate se adapta a un gran rango en cuanto a la altitud, esto dependiendo de la variedad, estos se pueden adaptar desde el nivel del mar hasta los 3000 metros de altura. Aunque el establecimiento de huertos de aguacate a una altura de más de 2400 msnm se considera fuera del rango óptimo, (Vieira *et al* 2001).

Temperatura: La temperatura para el cultivo del aguacate, va de los 17 a 24 °C, siendo la temperatura de 20°C, la temperatura en la cual alcanza su óptimo desarrollo, (SAGARPA, 2011).

Humedad: El aguacate requiere regímenes pluviales de 1,000 a 2,000 milímetros de lluvia. Además, durante la época productiva, el riego localizado prolonga el periodo productivo, incrementando los rendimientos en alrededor del 30% y mejorando las cualidades organolépticas de los frutos, (FHIA, 2008).

Suelo: Los suelos donde se desarrolla el aguacate generalmente son suelos jóvenes en términos geológicos, los suelo más recomendado son los de textura ligera y profundos bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácidos de 5.5 a 7. También, se pueden cultivar en suelos arcillosos o franco arcillosos, siempre que exista un buen drenaje. El exceso de humedad es un medio que provoca enfermedades de la raíz, fisiológicas y fúngicas, (SAGARPA, 2011).

Terreno: El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento, porque este puede producir daños como: rotura de ramas, raíz y caída del fruto, especialmente cuando están pequeños, además, el viento reduce la humedad, las flores se deshidratan e interfiere con la polinización, (ICBF, 2009).

Cultivo: La distancia de siembra entre las plantas está determinado en función de factores como: variedad de aguacate, tipo de suelo, topografía y condiciones meteorológicas. En general, los árboles son plantados con una distancia entre ellos que va desde los 7 metros hasta los 12 metros de distancia entre sí, de esta manera

se obtiene en una hectárea destinada a la plantación del aguacate, de 115 a 180 árboles, (Bernal *et al*, 2008).

Cosecha: En arboles injertados, la primera cosecha de la fruta se realiza al quinto año de vida del árbol, obteniendo por lo regular alrededor de 50 frutos en ese ciclo. Durante los siguientes años, alcanza 150 frutos en el sexto año (ciclo), 300 frutos al séptimo, llegando a 800 en el ciclo del octavo año, (Lemus *et al*, 2010).



Figura 4.5: Cosecha de aguacate

4.1.6 FENOLOGÍA DEL AGUACATE

La fenología es la “relación entre el clima y los procesos biológicos periódicos involucrados en la vida de las plantas”, (Whiley *et al.*, 1988). Font Quer (1997), amplía la definición del término, como la forma contracta de fenología, y la explica “como el estudio de los fenómenos biológicos acomodados a cierto ritmo periódico: la brotación, la maduración de los frutos, etc”

Según Wolstenholme y Whiley, (1989), figura 4.3, los árboles frutales muestran diversas fases del desarrollo o fases fenológicas conforme pasan las estaciones del año, por:

- **Flujos de crecimiento vegetativo,**
- **Amarre y caída de fruto,**

- **Crecimiento y maduración del fruto,**
- **Crecimiento de raíces,**
- **Abscisión de hojas, etc..**

Una vez que las fases fenológicas son registradas y relacionadas, tanto con periodos de ocurrencia o duración como con información meteorológica, se puede predecir la ocurrencia de cambios importantes en el desarrollo del árbol. Esto ayudaría a técnicos y productores a modificar la expresión y duración de los procesos fenológicos que ocurren en los árboles, (Cossio et al, 2008).

El aguacate es una planta siempre verde con crecimiento rítmico que comúnmente presenta dos o más flujos de crecimiento vegetativo durante un ciclo de crecimiento anual, (Salazar 2002).

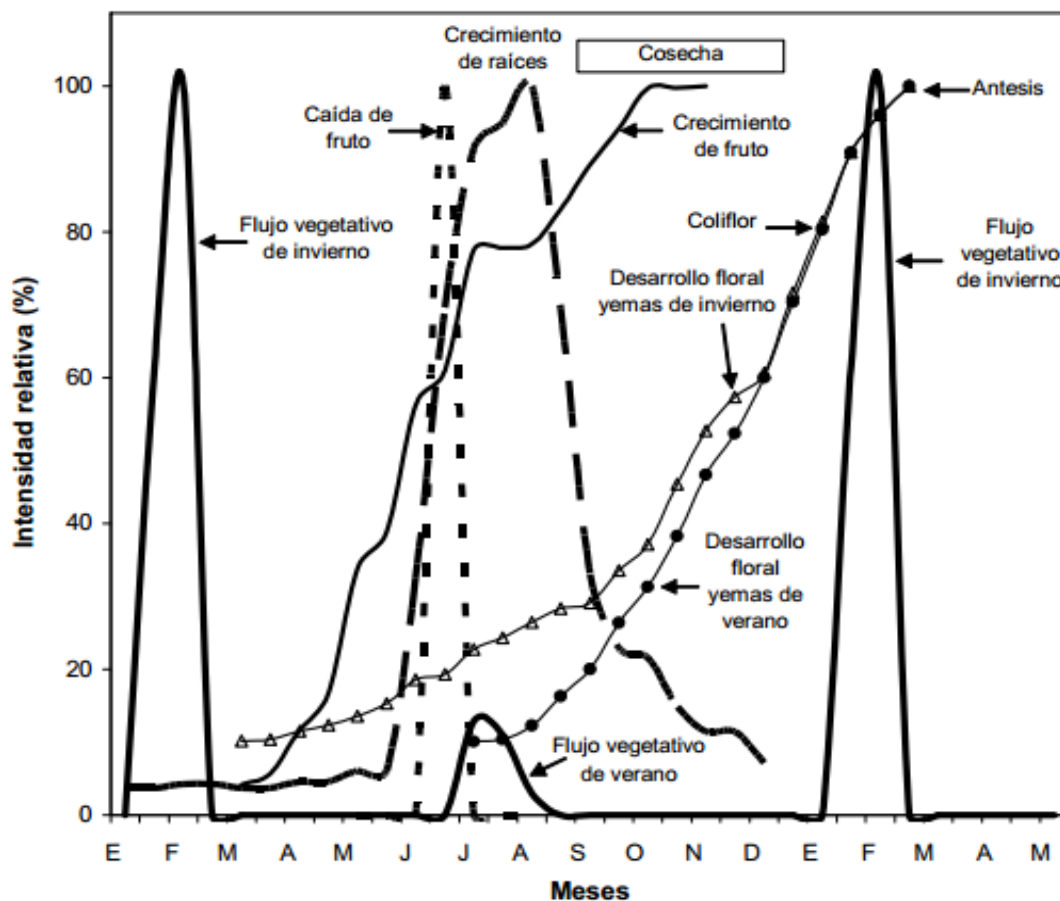


Figura 4.6: Fenología del aguacate.

El aguacate se ha convertido en un cultivo muy rentable y esto se deriva del beneficio que derrama entre los productores, comercializadores industrializadores y consumidores pues tiene gran relevancia socioeconómica al generar empleos y capital, (SAGARPA, 2003).

La importancia del aguacate en el mercado internacional ha crecido sostenidamente dejando de ser un fruto exótico, para incorporarse a la dieta de muchos países. Esta tendencia se ha reforzado por la importancia mundial creciente en el consumo de productos naturales, (CESVO, 2013).

A nivel internacional la explotación del aguacate se ha intensificado y del total de la producción mundial, una tercera parte proviene del estado de Michoacán en México por lo cual se ha convertido en el productor con más calidad y cantidad, y el principal exportador a partir de la apertura comercial, (Macías, 2011). Sin embargo el efecto de la intensa explotación agrícola en el estado para incrementar la producción de este cultivo ha provocado cambios en el uso del suelo, de cultivos forestales a huertos de aguacate, ocasionando procesos de degradación de suelos, (FAOSTAT SIAP- SAGARPA, 2012)

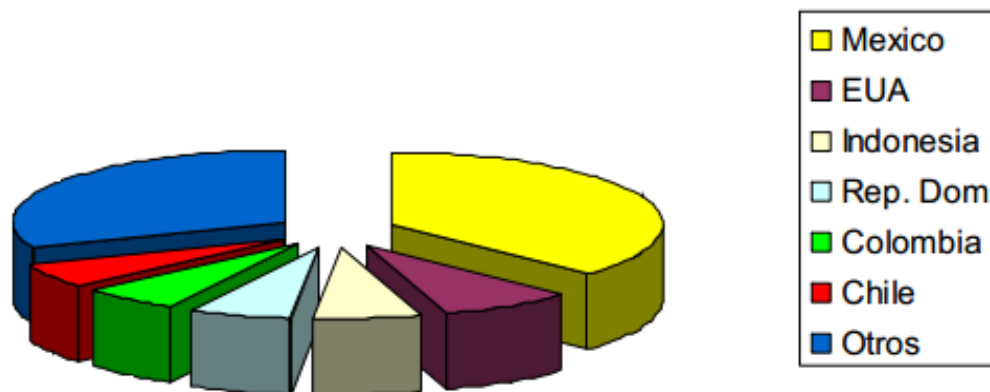


Figura 4.7: principales países productores de aguacate.

El aguacate tiene un gran consumo alrededor del mundo, pero el mayor consumo per cápita es en México donde este es de 9 Kg/ año, lo cual demanda una gran

comercialización interna para sus habitantes, (SIAP, 2009). Pero cabe mencionar que el principal factor explicativo en el dinamismo mostrado por el aguacate mexicano durante las dos últimas décadas, lo constituye la apertura paulatina del mercado de EUA (segundo consumidor mundial), iniciada en 1993 y terminada de consolidar en 2007, (Macías, 2011)

Hoy, el aguacate proveniente de México es el más consumido por la población estadounidense, incluso superando a su propia producción nacional, (Macías, 2011).

En necesario indicar que el aguacate también representa gran importancia en lo que respecta a la industrialización de la fruta, pues se produce “Guacamole”, aceite y subproductos como champú, cremas, aceite comestible y sopas enlatadas, (BIOPLUS, 1999).

4.1.7. MANEJO AGRÍCOLA

Las condiciones actuales de manejo de huertos de aguacate, han generado criterios nuevos, orientados a replantear las bases para un manejo ecológico de acuerdo con una tendencia mundial hacia la protección y conservación de los recursos naturales, por lo que algunas actividades como el enriquecimiento de los suelos agrícolas, utilización apropiada del agua de riego, y la reducción casi total del uso de plaguicidas y fertilizantes químicos retoman una gran importancia, (Reyes *et al*, 2011).

4.1.7.1 MANEJO CONVENCIONAL

Las plantaciones de aguacate manejadas convencionalmente someten su producción a condiciones particulares transformándola en receptor excelente de

substancias químicas, (Henaó, 1991) y rompiendo el balance bio-dinámico que existe entre las poblaciones de plagas de insectos y predadores naturales, favoreciendo a los primeros (Simón, 2013).

Dentro del manejo convencional, podemos encontrar actividades como:

1. **Propagación.** Se hace mediante el uso de injertos sobre patrones criollos preferentemente de la raza mexicana, el método de injertación usado es el de enchapado lateral, desafortunadamente no existen a la fecha normas para el establecimiento y funcionamiento de viveros, por lo que la cantidad, sanidad, calidad y características genéticas de los árboles que se producen es variable (CORPOICA, 2014).
2. **Control de malezas.** Debido a las condiciones climatológicas de las zonas productoras de aguacate, la mayoría de los productores se ven obligados a llevar a cabo el control de malezas durante la época de lluvias por el acelerado crecimiento que éstas presentan; por lo que se hace uso de diferentes metodologías de control, predominando el uso de herbicidas como: Simazine y Paraquat, Glifosato, 2,4,D. etc. Aunque existen otros productos en el mercado (Sánchez y Rubí, 1994).
3. **Fertilización.** Aunque existen laboratorios con tecnología adecuada, los productores mexicanos comúnmente usan formulaciones comerciales que incluyen nitrógeno, fósforo y potasio, con rangos y combinaciones muy variables, de acuerdo al criterio de cada productor (situación económica) o el técnico que los asesore, un reducido número de ellos lo hace siguiendo un programa de análisis nutrimental, (CICTAMEX 1995).
4. **Irrigación.** Afortunadamente para los productores, la calidad del agua en la mayoría de las zonas productoras es buena, libre de sales y minerales que dañen el cultivo, aunque a últimas fechas el agua es un factor limitante en todas las áreas y empieza a volverse insuficiente, (Vargas *et al*, 2007). En términos generales un 80% de la superficie productora de aguacate se desarrolla bajo riego, donde predominan los sistemas de goteo y micro-aspersión, además del riego por inundación en lugares donde el agua es abundante. En la mayoría de los casos, el agua proviene

de manantiales, arroyos y ríos, por lo que se requiere de equipos de bombeo, (Sánchez y Rubí, 1994; Salazar *et al*, 2009).

5. **Plagas y enfermedades.** Existen diversas plagas y enfermedades que atacan al aguacate, pero actualmente los productores están centrados en el manejo de aquellas plagas que limitan la exportación, entre las que se encuentran: *Conotrachelus perseae*, *C. aguacatae*, *Helipus lauri*, *Copiaros aguacatae* y *Stenoma catenifer*; en cuanto a enfermedades del fruto, se encuentran Antracnosis (*Colletotricum*), pudriciones del fruto por *Phytophthora* sp y roña *Sphaceloma perseae*; en lo que se refiere a plagas que dañan los frutos, se tienen trips (*Heliothrips* sp y *Scirtothrips* sp), arañas (*Oligonychus* spp) y larvas de lepidóptero como *Amorbia* y *Grassilaria*. Los productos químicos son el método más utilizado para su control, esto se debe a que es más fácil, y ofrece resultados relativamente rápidos. Se realizan aplicación de insecticidas, fungicidas, etc., (Jiménez, 1987; Alonzo *et al* 2012; Dávila *et al*, 2013).

4.1.7.2 MANEJO ORGÁNICO

La producción orgánica es una alternativa con futuro, ya que los altos niveles de contaminación en nuestro entorno natural por el abuso de agroquímicos nos inducen a pensar en esquemas de producción de nuestros alimentos con el mismo riesgo de que estos contengan elementos nocivos para la salud humana, (Gómez, 2000).

El manejo orgánico es un sistema de producción desarrollado a principios de siglo por agricultores Europeos, y adoptado posteriormente en Estados Unidos. Es un sistema de producción que evita el uso de plaguicidas, fertilizantes químicos y cualquier otro producto de origen sintético, (Figuroa, 1991. Jiménez, 1993), se apoya en prácticas como la rotación de cultivos, utilización de residuos de cosecha, estiércol de animales, desechos orgánicos, abonos verdes, compostas, control biológico, etc. (Ruíz, 1993).

4.1.7.3 MANEJO INTEGRADO

El manejo integrado es un conjunto de acciones y decisiones fundamentadas en datos sistematizados de la planta del clima y de los factores que influyen en la productividad. En su aplicación interactúan los productores y comercializadores, sus asesores y los investigadores que desarrollan los sistemas de información y los modelos, (Telliz y Marroquín 2007).

Los componentes de este sistema de manejo son:

- El huerto de aguacate y sus componentes técnicos (planta, agua, suelo, manejo del huerto, organismos dañinos, etc.).
- El humano directo (productor, industrializador, comercializador), el humano de apoyo técnico (asesor, investigador, divulgador, proveedor de insumos etc.), el humano de apoyo infraestructural (bancos, apoyos financieros, organización para la producción, para la comercialización, para el desarrollo individual, familiar y colectivo).
- El sistema de información: datos agronómicos, económicos de mercados nacionales y extranjeros, modelo de desarrollo de plantas y etapas importantes para entender sus necesidades de nutrientes y agua, modelos de desarrollo de organismos dañinos y benéficos, modelos de predicción de plagas y enfermedades etc.

4.2. EL SUELO

El suelo puede definirse, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984), **“como el material mineral no consolidado en la**

superficie de la tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando durante un determinado periodo". Es considerado como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él, que influye en el clima y en el ciclo hidrológico del planeta, y que sirve como medio de crecimiento para diversos organismos, (Jaramillo, 2002). Además de jugar un papel ambiental de suma importancia, ya que puede considerarse como un reactor bio-físico-químico en donde se descompone material de desecho que es reciclado dentro de él, (Hillel 1998).

El suelo es uno de los recursos naturales más significativos en la vida del hombre, por lo que se convierten en recurso indispensable para cualquier nación. Constituyen un sistema vital de importancia bajo la sola consideración de que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende del suelo, (López, 2002).

En México es muy común la falta de interés para conocerlo, esta situación ha provocado que con mucha frecuencia la planeación del uso del suelo se realice sin una base sólida, por falta de información precisa y de un compromiso serio sobre su sustentabilidad, lo que conduce a la afectación de otros recursos naturales, (SEMARNAT, 2002). En los suelos con presencia de arcillas es importante considerar el papel que estas juegan con los metales nutrientes o los contaminantes, presentan superficies adsorptivas de importancia, en la tabla 4.2, se presenta una síntesis de las características de las arcillas en los suelos.

Tabla 4.2: Propiedades importantes de los minerales arcillosos

1. Tipos de propiedades electroquímicas que actúan dentro y entre partículas:			
Tipo de fuerza	Fuente	Fuerza relativa	Distancia (en Å)
Enlace con la valencia primaria	Donador de electrones	Muy fuerte	1-2
Enlace de hidrógeno/catión	Atracción catiónica	Fuerte	2-3
Van der Waals	Momento dipolar	Débil	>5
Electrostática	Eléctrica	Muy débil	>>5

2. Propiedades de las soluciones acuosas de las partículas arcillosas cargadas negativamente:

- Atracción y orientación del dipolo de las moléculas de agua cerca de la superficie de la arcilla.
- Atracción catiónica hacia la superficie de la partícula arcillosa, donde la concentración catiónica está inversamente relacionada a la distancia de la superficie arcillosa (doble capa difusa de Gouy- Chapman).
- Medida de la habilidad para adsorber cationes mediante la capacidad de intercambio catiónico. Facilidad del intercambio catiónico en función del tamaño y valencia del ion hidratado, así como de su concentración.

3. El arreglo estructural de las partículas de arcilla se caracteriza por:

- Flóculos, si la doble capa es pequeña, tal que la atracción entre partículas ocurre en todas las orientaciones posibles o en una concentración positiva de las aristas para producir atracciones arista-cara. La floculación mejora mediante el aumento de la concentración iónica, el aumento de la carga del catión adsorbido, la disminución del tamaño de los cationes intercambiables, o la disminución del pH del medio fluido.
- Dispersa si la doble capa es suficientemente grande para mantener separada a las partículas.

4. Se ha observado en suelos cohesivos fenómenos originados por fuerzas electroquímicas importantes: sensibilidad tixotropía y electroósmosis.

4.2.1. DEGRADACIÓN DEL SUELO

La degradación del suelo, es definida como la pérdida de calidad y cantidad de suelo, tratándose de la pérdida parcial o total de la productividad de este, cualitativa y/o cuantitativa, como resultado de procesos tales como la erosión hídrica, erosión eólica, salinización, deterioro de la estructura, encostramiento, contaminación y pérdida de elementos nutritivos, desertificación, etc., (López, 1994).

La desertificación es considerada un proceso de degradación del suelo que afecta al alrededor del 40 % de la superficie terrestre, (Holtz, 2003). Y puede tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas. Esta degradación se relaciona con el uso inadecuado del recurso, suelo, siendo la base fundamental para el abastecimiento de alimentos para las plantas, los animales y el hombre, (Ortiz *et al.*, 1994).

4.2.2. CAUSAS DE LA DEGRADACIÓN

La erosión en una concepción amplia, es un proceso físico, químico y antrópico que desgasta y destruye continuamente los suelos y las rocas de la corteza terrestre. La mayoría de los procesos erosivos son resultado de la acción combinada de varios factores, como el calor, el frío, los gases, el agua, el viento, la gravedad, la vida vegetal y animal y la acción del hombre, (Alonso, 2001).

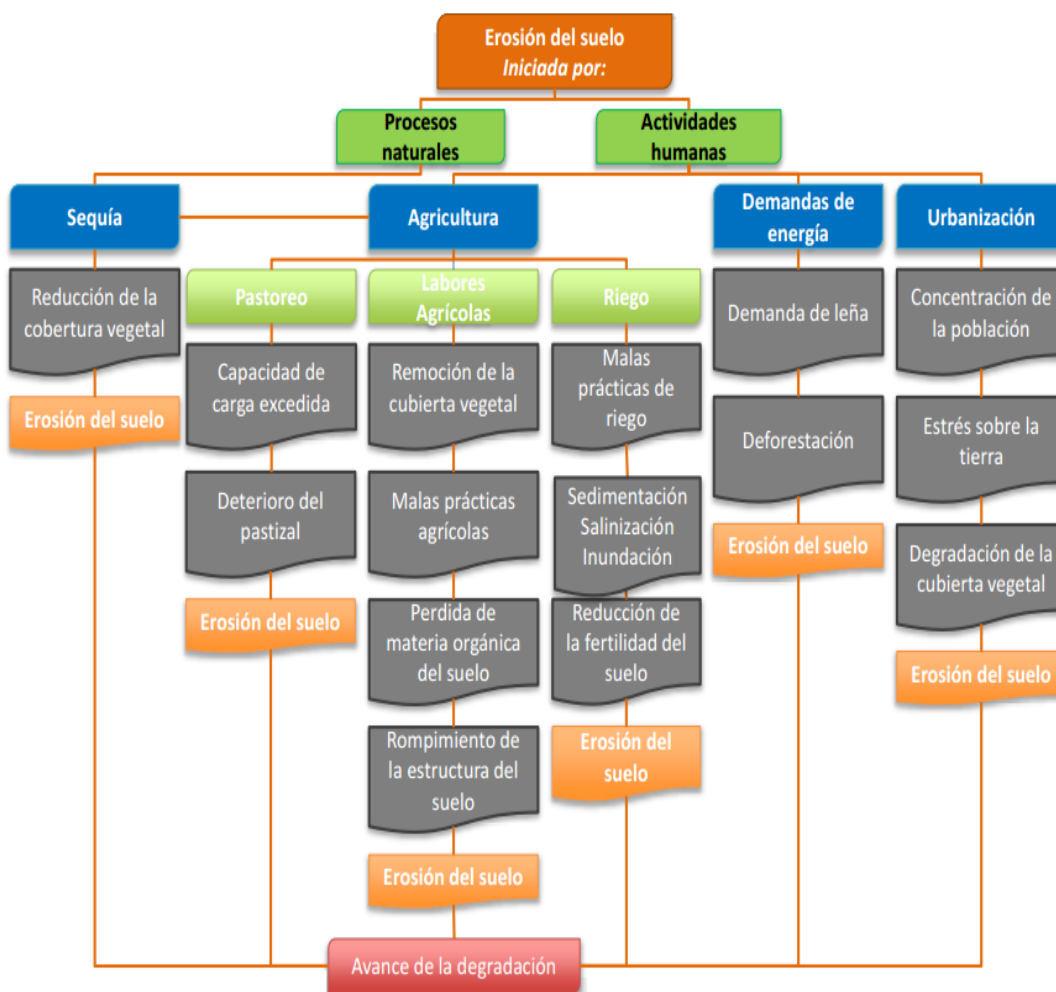


Figura 4.8: Causas de la erosión en el suelo.

Algunas de las principales causas que provocan la degradación de suelos en el país, son: el sobrepastoreo, la deforestación, cambio del uso del suelo y malas

prácticas agrícolas, debido principalmente a actividades productivas que son generadas como consecuencia de las actividades antropogénicas, (SEMARNAT, 2003).

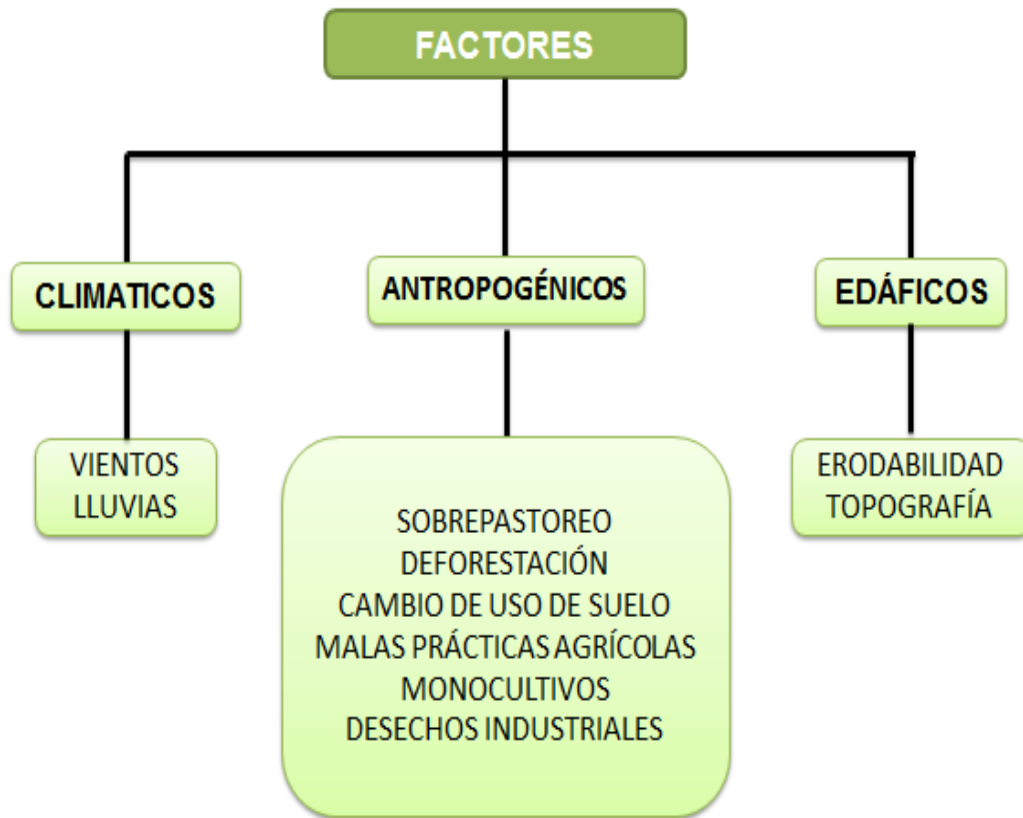


Figura 4.9: Principales factores que favorecen la degradación del suelo en México

Como se ha indicado anteriormente, las actividades antropogénicas sin ordenamiento ecológico provocan, entre otros efectos: la pérdida de la cubierta vegetal, erosión hídrica y eólica, ensalitramiento, compactación, disminución de la materia orgánica y pérdida de nutrientes del suelo, así como la acumulación de sustancias tóxicas y sequía, (Anaya, 2003), figura4.9.

4.2.2.1. SOBREPASTOREO

Se entiende como sobrepastoreo al pastoreo y sobreexplotación del suelo de manera continua por actividades que superan la capacidad de renovación natural, (Andrade, 2012). Se produce cuando las plantas están expuestas a pastoreo intensivo durante largos periodos de tiempo, o sin periodos de recuperación. Puede ser causada por la mala gestión de la ganadería en las aplicaciones agrícolas o por sobrepoblaciones de animales silvestres,(FAO, 2010).

El sobrepastoreo favorece la degradación del suelo puesto que reduce la profundidad de este, reduce la materia orgánica y la fertilidad, poniendo en peligro el futuro de la productividad de la tierra, (López, 2002).

4.2.2.2. DEFORESTACIÓN

Se define a la deforestación: “**como la pérdida del bosque resultado de su conversión a otros usos**”, (Lanly, 2003).



Figura 4.10: Deforestación

La deforestación no incluye la amplia degradación que ocurre en los bosques, es decir, la erosión gradual del bosque que resulta en la reducción de la cubierta vegetal, sin llegar a su remoción total, y la alteración en la composición de las especies, por los incendios, la tala ilegal o las plagas y enfermedades, (FAO, 2011).

En la literatura mundial se reconoce que existen discrepancias y retos, desde la definición misma de deforestación así como por la forma de medirla, (Lambin *et al.*, 2001).

4.2.2.3. CAMBIO DEL USO DEL SUELO

El cambio en uso del suelo, se refiere al resultado de las actividades socioeconómicas que se desarrollan (o desarrollaron) sobre una cobertura, (Anderson *et al.*, 1976, citado por Bocco *et al.*, 2001). Estas actividades se relacionan con la apropiación de recursos naturales para la generación de bienes y servicios.

La forma de evaluar el cambio de uso de suelo se realiza a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal del mismo. Tradicionalmente, la medición de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo se realiza sobre documentos generados mediante percepción remota o cartografía temática de cobertura, (Bocco *et al.*, 2001).

El cambio en el uso de suelo trae consigo deforestación y con ello una declinación en la condición natural del recurso suelo, (Cotler *et al.*, 2008).

4.2.2.4. MALAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

La agricultura intensiva es una de las actividades humanas que tienen mayor repercusión en la contaminación del suelo siempre ha supuesto un impacto ambiental fuerte y las prácticas agropecuarias pueden afectar con distinta intensidad las condiciones del suelo, (Abellán *et al*, 2006). Hay que talar bosques para tener el suelo apto para los cultivos, hacer embalses de agua para regar, canalizar ríos etc. Prácticas que se consideran inadecuadas debido a que multiplican los impactos negativos sobre el ambiente, (Jimeno y Herero, 1998).

La contaminación por plaguicidas y fertilizantes, son algunos de los problemas más importantes consecuentes de las prácticas de manejo agrícola inadecuadas, (Dávila 2010).

- **Fertilizantes:** agroquímicos que se añaden al suelo, con el fin de aumentar el rendimiento de los cultivos. En la recolección se extraen elementos que actúan como nutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg, principalmente), que hay que devolver al suelo en forma de nitratos, fosfatos, sales de potasio, etc., en cantidades equivalentes a las extraídas, pero esto último conlleva al análisis constante de suelos y plantas, por un lado encarece el precio de los productos, por otro es importante hacer análisis constantes, tanto en follaje como en suelo para determinar la concentración adecuada de nutrientes durante el ciclo productivo del cultivo. Debido a la falta de concientización de los productores, la falta de análisis se solventa con la adición cada vez en mayor proporción de fertilizantes químicos sin tener en cuenta el principio de los rendimientos decrecientes o menos que proporcionales y la ley del mínimo de los factores limitantes, lo también causa un empobrecimiento de la fertilidad del suelo y a la larga una contaminación para los acuíferos. El hecho de incorporar al suelo cantidades excesivas de fertilizantes, cesa en nombre de la “rentabilidad” el devolver a las tierras de cultivo el humus que garantiza su fertilidad; donde puede existir una implicación en la salud humana. Además, va en deterioro de la estructura edáfica, no formándose el complejo adsorbente arcilla-húmico que genera el transporte y la fácil asimilación de los elementos nutrientes a las plantas, es decir no es

adecuado el intercambio de iones, sean catiónicos o aniónicos. Debido a esta utilización excesiva de fertilizantes, se están cambiando los ciclos biogeoquímicos de las plantas, esto afecta de forma directa, tanto su desarrollo, como las condiciones del suelo, ya que modifica los tiempos de alteración de la materia orgánica, (Hernando y López, 2007)

- **Plaguicidas:** los plaguicidas se distribuyen voluntariamente sobre el medio natural, bien para proteger al hombre, para proteger a los animales o bien para el control de plagas y enfermedades de los cultivos, incluidas las malas hierbas, las cuales no suponen una enfermedad sino una competencia por agua, minerales y nutrientes del suelo, (Badii y Landeros, 2007). Se distinguen fungicidas, insecticidas, herbicidas, rodenticidas, nematocidas, acaricidas, etc. Pero en realidad, estas denominaciones son un abuso terminológico, porque no solo afectan al término al que se refieren sino a todos los seres vivos; es decir los plaguicidas afectan al conjunto del ecosistema, (Albert *et al* 2005). De todos ellos los herbicidas son los que más afectan al suelo, porque, en muchas ocasiones se depositan directamente sobre él. Los suelos contaminados por estos productos pueden permanecer afectados por largo tiempo, durante el cual son incapaces de soportar cualquier tipo de vegetación. Los plaguicidas son contaminantes de los suelos por si solos o como resultados de transformaciones químicas o biológicas, (Hernando y López, 2007), afectando también mantos acuáticos.



Figura 4.11: Aplicación de plaguicidas

4.2.2.5. MONOCULTIVOS

El monocultivo se refiere a plantaciones manejadas intensamente y de gran extensión con árboles u otro tipo de plantas de una sola especie, con el fin de aumentar la eficiencia y la producción, añadiendo a la vez grandes cantidades de fertilizantes y plaguicidas, (Bichier, 2006).



Figura 4.12: Monocultivo de aguacate

La uniformidad de los monocultivos destruye la renovabilidad del sistema ecológico total, además agota las tierras y multiplica algunas plagas pues éstas pueden contar siempre con el tipo de alimento al que están adaptadas.

Los monocultivos generan una nueva vulnerabilidad ecológica, porque reducen la diversidad genética y desestabilizan los sistemas edafológicos e hidrológicos, volviéndolos económicamente inviables, (Granda, 2006).

4.2.3. TIPOS DE DEGRADACIÓN DE SUELO

4.2.3.1. DEGRADACIÓN FÍSICA

Se considera una degradación física al encostramiento del suelo, producto del afloramiento de horizontes sub-superficiales, se evalúa y clasifica únicamente en cuanto a estado actual, *ya que es un proceso que se lleva a cabo en un tiempo relativamente largo*, (Benítez et al, 2003)

- ✚ Procesos de degradación física, que afectan a las principales propiedades físicas del suelo que mayor influencia tienen en su funcionamiento hídrico y atmosférico, (García, 2009).
- ✚ Erosión acelerada, tanto hídrica como eólica.
- ✚ Degradación de la estructura, incluyendo la formación de costras de sellado superficiales, la compactación y el encharcamiento, (García, 2009).

4.2.3.2. DEGRADACIÓN QUÍMICA

Se considera degradación química a cualquier proceso que modifica las propiedades del suelo. Esta modificación siempre lleva consigo un deterioro de las propiedades del suelo, (García y Dorronsoro, 2000).

Procesos de degradación química, relacionados con el deterioro de las características químicas que influyen en la fertilidad de los suelos y por tanto en su funcionamiento productivo y biosférico (capacidad para producir biomasa), (Mataix, 1999).

- ✚ Salinización y sodificación.
- ✚ Acidificación y desbasificación.
- ✚ Contaminación.

4.2.3.3. DEGRADACIÓN BIOLÓGICA

Considerando la visión propuesta en la metodología FAO, (FAO, 1996), la degradación biológica se refiere al índice de la destrucción biológica de los ecosistemas y la disminución de la productividad.

Procesos de degradación biológica, que hacen referencia al deterioro de los procesos bióticos en el suelo y a la disminución de propiedades orgánicas de los mismos, (García, 2008; Ferreras *et al*, 2009).

- ✚ Reducción del contenido en materia orgánica.
- ✚ Disminución del carbono ligado a la biomasa.
- ✚ Reducción de la actividad de los microorganismos.
- ✚ Pérdida de biodiversidad edáfica.
- ✚ Alteración de los procesos biológicos



Figura 4.13: Efectos de la degradación de los suelos en las plantas

4.2.4. CALIDAD DE LOS SUELOS

La calidad del suelo se refiere a la capacidad del suelo para funcionar en el apoyo a los servicios de ecosistemas importantes sin un impacto negativo en el entorno, (Idowu *et al*, 2009).

El término calidad del suelo no es fácil de conceptualizar, ya que la misma se define en función al uso y manejo del suelo que favorece determinadas condiciones (suelos agrícolas, forestales, industriales, etc.); no obstante, se debe tomar en cuenta el equilibrio medioambiental y caracterizar algunas de las propiedades del suelo: infiltración, contenido nutricional, vulnerabilidad a sufrir degradación, (Doran *et al*, 1994; Blum, 1998).

En los sistemas agrícolas, un suelo de alta calidad y salud provee un crecimiento productivo y sostenible de los cultivos con el mínimo impacto sobre el ambiente, gracias a su alta disponibilidad de nutrientes y aireación, buena infiltración retención de humedad, estabilidad estructural y elevado nivel de actividad biológica, (Villareal, 2010). Dado que la calidad del suelo en general no se puede medir directamente, su evaluación se basa en mediciones de suelos seleccionados (indicadores) para cuantificar los cambios inducidos por el manejo en un sistema suelo (Arshad *et al*, 1992).

4.2.5. INDICADORES DE LA CALIDAD DEL SUELO

Los indicadores son datos estadísticos o medidas de una cierta condición, cambio de calidad o cambio en estado de algo que está siendo evaluado. Proporcionan información y describen el estado del fenómeno objeto de estudio, pero con un significado que va más allá de aquel que está directamente asociado con un parámetro individual (OECD, 1993).

Para poder evaluar adecuadamente la calidad del suelo se debe contar con indicadores que permitan conocer su condición actual. El diagnóstico y monitoreo de las propiedades de los suelos es una herramienta fundamental para la implementación de sistemas productivos sustentables (Herrick *et al.*, 2002). *Los indicadores deben ser* (Gallopín, 1995; Doran y Parkin, 1996; Doran y Zeiss, 2000; citados por Cantú *et al* 2007):

- Limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios.
- Sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben ser propiedades que resuman otras cualidades.
- Interdisciplinarios; en lo posible deben contemplar la mayor diversidad de situaciones, por lo tanto debe incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas, etc.).
- Tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas, asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos.

4.2.5.1. INDICADORES FÍSICOS

Dentro de las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de calidad, se encuentran aquellas que se refieren a la forma en que el suelo intercepta, retiene y transfiere el agua, a los movimientos que realiza dicho líquido en el perfil, a las limitaciones que se pueden presentar para el desarrollo de raíces y la emergencia de plantas y a la estructura y porosidad de dicho suelo (Villareal, 2010).

Se han propuesto entonces como indicadores físicos algunas de las propiedades de los suelos como: el color, la estructura (textura), densidad aparente, estabilidad de

agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada, (Bravo, 2010).

4.2.5.1.1. Color

Este indicador nos permite deducir rasgos importantes en el suelo, como la composición y las condiciones pasadas de óxido- reducción, (FAO, 2003). Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de hierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, que puede ser debido al color de la roca parental, (CONAGUA, 2011).

El color del suelo si es oscuro o negro nos puede indicar el contenido alto de materia orgánica, mientras que un color blancuzco hace referencia a la presencia de carbonatos y/o sulfatos, y los colores grises/verdes/azulados muestran hidromorfía permanente, (Cadena, 2013).

4.2.5.1.2. Textura

La textura de un suelo, se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla en el mismo. Específicamente la clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm en tamaño. Si las partículas mayores de 2 mm están presentes en cantidades significativas, al nombre de la textura se le agrega un adjetivo apropiado como gravoso o pedregoso. Las fracciones según el tamaño, por ejemplo cuando son menores de 2 mm se les denomina separados del suelo. Los límites, de acuerdo al sistema Americano o al Internacional (Tamhane *et al.*, 1983), son reunidos en la figura 4.14.

Tabla 4.3: Propiedades importantes de los minerales arcillosos

1. Tipos de propiedades electroquímicas que actúan dentro y entre partículas:			
Tipo de fuerza	Fuente	Fuerza relativa	Distancia (en Å)
Enlace con la valencia primaria	Donador de electrones	Muy fuerte	1-2
Enlace de hidrógeno/catión	Atracción catiónica	Fuerte	2-3
Van der Waals	Momento dipolar	Débil	>5
Electrostática	Eléctrica	Muy débil	>>5
2. Propiedades de las soluciones acuosas de las partículas arcillosas cargadas negativamente:			
<input type="checkbox"/> Atracción y orientación del dipolo de las moléculas de agua cerca de la superficie de la arcilla.			
<input type="checkbox"/> Atracción catiónica hacia la superficie de la partícula arcillosa, donde la concentración catiónica está inversamente relacionada a la distancia de la superficie arcillosa (doble capa difusa de Gouy- Chapman).			
<input type="checkbox"/> Medida de la habilidad para adsorber cationes mediante la capacidad de intercambio catiónico. Facilidad del intercambio catiónico en función del tamaño y valencia del ion hidratado, así como de su concentración.			
3. El arreglo estructural de las partículas de arcilla se caracteriza por:			
<input type="checkbox"/> Flóculos, si la doble capa es pequeña, tal que la atracción entre partículas ocurre en todas las orientaciones posibles o en una concentración positiva de las aristas para producir atracciones arista-cara. La floculación mejora mediante el aumento de la concentración iónica, el aumento de la carga del catión adsorbido, la disminución del tamaño de los cationes intercambiables, o la disminución del pH del medio fluido.			
<input type="checkbox"/> Dispersa si la doble capa es suficientemente grande para mantener separada a las partículas.			
4. Se ha observado en suelos cohesivos fenómenos originados por fuerzas electroquímicas importantes: sensibilidad tixotropía y electroósmosis.			

En los suelos limosos se producen efectos de impermeabilidad y mala aireación, carecen de propiedades coloidales y no tienen la posibilidad de formar agregados. Los suelos arcillosos son ricos en nutrientes, pero si hay un exceso de arcilla (>30%) son impermeables, las labores agrícolas son difíciles debido a su fuerte plasticidad en estado húmedo o a una excesiva compactación en estado seco. Los suelos con textura franca (equilibrada) es la ideal para el cultivo, aunque hay que tener en cuenta otros factores como el contenido en materia orgánica, régimen de humedad del suelo, clima, etc. (UNAD, 2004).

Tamaño en μm	Tipo de suelo
2000	Arena muy gruesa
1250	Arena gruesa
630	Arena media
200	Arena fina
125	Arena muy fina
63	Limo grueso
20	Limo fino
2	Arcilla

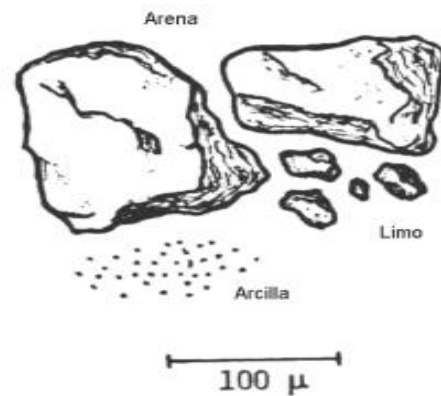


Figura 4.15: Tamaño de partículas del suelo (Sistema Internacional)

4.2.5.1.3. Estructura

Se la define como el arreglo de las partículas del suelo, (Villalaz, 2004). Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural), (Rucks, 2004).

Las partículas no se suelen presentarse en el suelo de un modo totalmente independiente, sino que se encuentran más o menos unidas unas a otras, constituyendo y formando agregados. Así, la estructura de un suelo se puede definir como “el modo de agregación o unión de los constituyentes del suelo (partículas minerales, materia orgánica, etc.), (Thompson, 1988).

Entre los factores que influyen o determinan la morfología de la estructura están, (Follet, 1985):

- ✚ La cantidad o porcentaje del material o matriz que une las partículas del suelo (carbonatos, arcilla, materia orgánica).
- ✚ La textura.
- ✚ La actividad biológica del suelo.
- ✚ La influencia humana (en un horizonte cultivado se forma una estructura con una morfología totalmente distinta a la natural que poseía el suelo).

4.2.5.1.4. Densidad Aparente (DAP)

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades. La densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire), (Sacoto, 2010).

Tabla 4.4: Propiedades importantes de las partículas

1. Tipos de propiedades electroquímicas que actúan dentro y entre partículas:			
Tipo de fuerza	Fuente	Fuerza relativa	Distancia (en Å)
Enlace con la valencia primaria	Donador de electrones	Muy fuerte	1-2
Enlace de hidrógeno/catión	Atracción catiónica	Fuerte	2-3

Van der Waals	Momento dipolar	Débil	>5
Electrostática	Eléctrica	Muy débil	>>5
1. Propiedades de las soluciones acuosas de las partículas arcillosas cargadas negativamente:			
<input type="checkbox"/> Atracción y orientación del dipolo de las moléculas de agua cerca de la superficie de la arcilla.			
<input type="checkbox"/> Atracción catiónica hacia la superficie de la partícula arcillosa, donde la concentración catiónica está inversamente relacionada a la distancia de la superficie arcillosa (doble capa difusa de Gouy- Chapman).			
<input type="checkbox"/> Medida de la habilidad para adsorber cationes mediante la capacidad de intercambio catiónico. Facilidad del intercambio catiónico en función del tamaño y valencia del ion hidratado, así como de su concentración.			
2. El arreglo estructural de las partículas de arcilla se caracteriza por:			
<input type="checkbox"/> Flóculos, si la doble capa es pequeña, tal que la atracción entre partículas ocurre en todas las orientaciones posibles o en una concentración positiva de las aristas para producir atracciones arista-cara. La floculación mejora mediante el aumento de la concentración iónica, el aumento de la carga del catión adsorbido, la disminución del tamaño de los cationes intercambiables, o la disminución del pH del medio fluido.			
<input type="checkbox"/> Dispersa si la doble capa es suficientemente grande para mantener separada a las partículas.			
4. Se ha observado en suelos cohesivos fenómenos originados por fuerzas electroquímicas importantes: sensibilidad tixotropía y electroósmosis.			

4.2.5.2. INDICADORES QUÍMICOS

Las propiedades químicas de los suelos que pueden utilizarse como indicadores de calidad, son aquellas que se refieren a condiciones químicas que pueden afectar las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad buffer del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos, (Frioni, 1999; Cruz *et al*, 2004).

4.2.5.2.1. El potencial Redox

Es un parámetro que permite medir la disponibilidad de oxígeno en un suelo. Así este mide la disponibilidad en términos eléctricos, de tal forma que un valor positivo en la lectura indica un ambiente más aeróbico que un valor negativo, (Navarro, 1988).

Este valor oscila en un amplio rango de lectura, pero en términos medios va de +500 (oxidación fuerte) a -700 (reducción fuerte) mV dependiendo si la presencia de oxígeno es mayor o menor respectivamente. Estos valores fluctúan apreciablemente durante el año, especialmente como consecuencia del mayor o menor contenido de agua en el suelo, (FAO, 2009).

4.2.5.2.2. EL pH

Es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios del suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo, (Romeu Y Hunter, 1982). La determinación de pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la presión parcial de CO₂, el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión etc, (NOM-021-RECNAT-2000).

El pH de un suelo puede tener una importancia determinante para la disponibilidad de los iones nutritivos, actuando directamente sobre el estado químico de los micronutrientes, (Blaya, 2003). En suelos que tienen un pH inferior a 6, el hierro, el zinc, el cobre y el manganeso, están presentes en formas fácilmente asimilables por parte de la planta. A medida que aumenta la alcalinidad del suelo, los micronutrientes son transformados poco a poco en óxidos, hidróxidos, fosfatos y carbonatos, con una creciente indisponibilidad para las plantas a medida que se

forman complejos insolubles con determinadas sustancias allí presentes, (Escarria, 2012).

4.2.5.2.3. Cambio iónico.

Se define el cambio iónico como los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo, adsorben iones de la fase líquida liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose el equilibrio entre ambos, (Fraga, 2005). Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas. Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones, que se pegan a la superficie de las partículas estos quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo, (Rincón, 2010). Dentro del cambio iónico el más importante y mejor conocido es la **capacidad de intercambio catiónico (CIC)**. En el suelo son varios los materiales que pueden cambiar cationes, pero principalmente las arcillas y la materia orgánica, (Richter et al 1982).

Las causas de la capacidad de cambio de cationes de las arcillas son, (Fassbender y Bornemisza, 1987):

- ✚ Sustituciones atómicas dentro de la red
- ✚ Existencia de bordes (superficies descompensadas).
- ✚ Disociación de los OH de las capas basales
- ✚ Enlaces de Van der Waals, que es un tipo de forma electrostática y se establece entre dos grupos no cargados. Son muy débiles individualmente, pero son importantes cuando su número es elevado

Las arcillas se caracterizan por tener áreas superficiales adsorbentes muy grandes donde si la superficies son negativas se adsorbentes cationes y si las

superficies son positivas son los aniones lo que se adsorben, esto es importante en los intercambios iónicos.

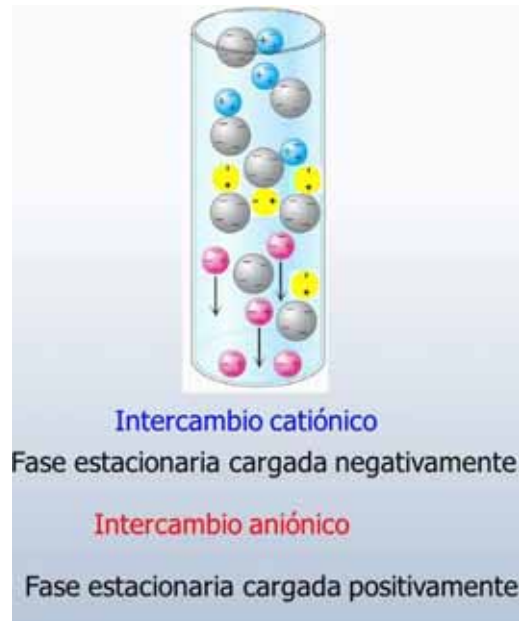


Figura 4.16. Diagrama de los intercambio iónicos en las arcillas

4.2.5.2.4. Movilidad de elementos menores en suelos

El aumento en la densidad de población ha requerido un progreso en la tecnología, la que aplicada a la agricultura resultó en un uso ampliado de productos químicos para la industria y la agricultura, (Fassbender y Bornemisza, 1987). Estas sustancias son utilizadas sin las precauciones necesarias y llegan al suelo en concentraciones excesivas, algunas de ellas son retenidas por los suelos especialmente por aquellos de gran superficie específica en donde llegan a permanecer durante largos periodos, algunos elementos llegan se encuentran en cantidades excesivas que se vuelven tóxicos para la plantas y los microorganismos por ejemplo la aplicación inmoderada de fungicidas cúpricos, observado en el Pacífico Sur de Costa Rica, (Cordero; 1979).

Se ha observado que las sustancias en la superficie de los suelos son afectadas por las pérdidas gaseosas y la descomposición fotoquímica o trasladadas como sólidos por la erosión, o escorrentía, (Ongley, 1997). En el suelo pueden ser disueltas, adsorbidas, perdidas por lavado, degradadas o absorbidas por las plantas. Según Korte *et al*; 1976 la movilidad de alguno de los principales contaminantes catiónicos en los suelos se pueden agrupar en el siguiente orden.



Existen factores influyentes sobre la movilidad son: la textura, la superficie específica, el contenido de sesquióxidos libres en el suelo y su pH, (Acosta, 2008).

4.2.5.2.5. Fósforo en el suelo

El fósforo es un elemento esencial para la vida. Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético, (Peralta *et al* 2014). Lamentablemente, el fósforo no es abundante en el suelo y el que se encuentra no está en formas disponibles para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo, una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar “fijado” (no disponible) en los minerales del suelo. Esto significa que la planta no puede absorberlo, (Juarez, 1996). En la naturaleza, el fósforo forma parte de las rocas y los minerales del suelo. Las fuentes de fósforo como nutrimento para las plantas son los fertilizantes minerales y los fertilizantes orgánicos, (Mas y Urkiaga, 2011). Los fertilizantes minerales son compuestos inorgánicos de fósforo que se extraen de los grandes yacimientos de “roca fosfórica”. Estos compuestos minerales, son tratados para hacerlos más solubles para que así, sean disponibles para las plantas y puedan ser utilizados por estas en la formación de tejidos y órganos vegetales. Las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{2-} (ión fosfato monoácido) y $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ (ión fosfato diácido) (Mas y Urkiaga, 2011; Apolo, 2012).

4.2.5.2.6. Materia orgánica en el suelo (MO)

La materia orgánica es el conjunto de residuos que forman una de las fuentes principales en la productividad de los suelos, esta puede diferir ampliamente de región a región, (Sztern, y Pravia, 1999), en regiones semiáridas, el contenido promedio de MO de suelos de labranza es muy bajo, por lo general menor a 1%. El contenido de MO del suelo en áreas donde llueve mucho, con abundancia de vegetación, puede variar del 8 al 10%. Los suelos de los deltas que contienen vegetación acuática, como carrizo y carex, acumulados durante siglos, suelen ser suelos orgánicos por excelencia (turba y estiércol). La MO del suelo consiste en residuos de plantas y animales den diversas etapas de descomposición, organismos vivos del suelo y sustancias sintetizadas por estos organismos, (Núñez *et al*, 2011). La cantidad de MO factible de acumularse en un suelo depende de la temperatura, humedad, aireación, pH del suelo, población microbiana y la cantidad y naturaleza química de los residuos vegetales, (Julca *et al*, 2006).

La MO del suelo ayuda como enmienda en los suelos al mantener la calidad de estos pues favorece la formación de agregados estables, mejorando la estructura, promueve la aireación y la penetración del agua, suministra abundantes partículas coloidales con carga negativa (humus) capaces de retener e intercambiar cationes nutritivos y constituye una fuente de muchos nutrientes vegetales, (Burbano, 1998; Montaña y Forero, 2013). La MO es una pieza clave para el mantenimiento de las funciones del suelo, al mismo tiempo que lo protege del progreso de procesos de degradación, (Felipo, 2002). En la actualidad la MO contenida en abonos de origen animal y en lodos de aguas de tratamiento, se usan como una fuente de nitrógeno y como enmiendas del suelo, todo esto debido a las funciones biológicas físicas y químicas que la materia orgánica cumple en el suelo, (Felipo, 2002).

4.2.5.3. INDICADORES BIOLÓGICOS

Los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad del suelo como la abundancia y subproductos de micro y microorganismos, incluidos bacterias, hongos, nematodos, lombrices, anélidos y artrópodos, (Cruz et al, 2004).

4.2.5.3.1. Respiración

La respiración es uno de los parámetros más antiguos para cuantificar la actividad microbiana, esta representa la oxidación de la materia orgánica hasta la formación del CO₂ por organismos aeróbicos del suelo, que por lo tanto utilizan O₂ como aceptor final de electrones, hasta el CO₂. (Krebs, 2003) La determinación del O₂ puede ser hecha por cromatografía gaseosa o electrorespirómetro y la de CO₂ por titulación o conductividad eléctrica (cuando es capturado por NaOH o KOH), cromatografía gaseosa, espectroscopía de infrarrojo (IRGA) o por ¹⁴C., (Moreira y Siqueira, 2002).

Los microorganismos respiran continuamente y la tasa de respiración es un índice confiable de la tasa de crecimiento. Los factores que afectan el crecimiento también influyen en la respiración en el mismo grado. Los principales factores conocidos que afectan la respiración aeróbica de bacterias heterotróficas son: temperatura, oxígeno disuelto, humedad del suelo, pH, y nutrientes, (Krebs, 2003; Marticorena, 2011).

4.2.6. ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

El Humus es definido como la suma de los compuestos orgánicos en el suelo con la exclusión de organismos vivientes en la biomasa y residuos de plantas y animales parcialmente descompuestos o sin descomposición, (Wershaw, 1993). El Humus juega un papel fundamental en los procesos ecológicos, como fuente de carbón para la biosfera, fertilizante para las plantas, y un factor que afecta las propiedades del suelo, (Richter, 1979). El material humificado representa más del 50% del total del carbono orgánico del suelo y puede ser clasificado en dos tipos; húmicos y no húmicos, (Stevenson, 1982; Martínez *et al*, 2008).

Las sustancias no húmicas son los carbohidratos, proteínas, grasas ceras resinas pigmentos y ácidos grasos de bajo peso molecular, (Schnitzer 1991; Atlas, 1984). La transformación de las sustancias no húmicas en húmicas se integra en dos procesos: la mineralización y la humificación. La primera es la formación de compuestos, en general solubles (nitratos, fosfatos, etc.) o gaseosos (CO₂), por la acción de microorganismos. La segunda consiste en la síntesis y/o unión química y/o biológica de compuestos de la degradación de residuos de plantas y animales, por la actividad enzimática de los microorganismos, (Fründ *et al*. 1994). De forma empírica, se han establecido tres fracciones predominantes: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, y otras en menor proporción, como son las sustancias mucilaginosas y gomosas, segregadas por los microorganismos, hormonas y antibióticos, que ejercen un efecto esencial pero poco conocido sobre el crecimiento de las plantas y sobre su resistencia al parasitismo, (Fuentes, 1999; Porta *et al*, 2003;).

4.2.6.1. HUMINAS

Fracción insoluble obtenida a partir del tratamiento de la muestra con pirofosfato sódico. Representa una fracción de escaso interés por el bajo contenido del humus en humina y por su reducida capacidad de reacción, (Porta *et al*, 2003).

4.2.6.2. ÁCIDOS HÚMICOS

Fracción que precipita en medio ácido a partir de las soluciones obtenidas tras el tratamiento con pirofosfato sódico. Por su importancia cuantitativa, representan la fracción más interesante del humus del suelo ya que pueden suponer hasta el 80 % de él. Se combinan con elementos metálicos formando humatos que pueden precipitar (humatos de calcio, de magnesio, hierro, etc.) o permanecer en dispersión coloidal (humatos de sodio, potasio, amonio, etc.), (Urbano, 2001).

Shmuk (1914-1930) considera los ácidos húmicos como parte más característica del humus y que éstos no eran compuestos de naturaleza individual, sino un grupo de sustancias con características comunes de estructura, lo cual se aproxima bastante a los conceptos actuales. También formuló el concepto de los ácidos húmicos como suspensiones altamente dispersas, que están como en el límite entre los coloides y cristaloides, pero que al mismo tiempo poseen una serie de síntomas típicos propios de las sustancias en estado coloidal: capacidad de precipitarse por los electrolitos, propiedades de adsorción, tendencia a hincharse, etc. Sus estudios sobre las formas del nitrógeno de los ácidos húmicos son destacables y cabe mencionar que este científico determinó los principales, (Reyes, 20012).

La determinación del carbono e hidrógeno contenidos en los ácidos húmicos extraídos de distintos tipos de suelos, se efectúa por el método de microanálisis del nitrógeno, según Kjeldhal, o por equipos con detectores de nitrógeno, mientras que el oxígeno se calcula por diferencia. Los cálculos están efectuados sobre materia absolutamente seca, sin cenizas, (Kononova y Muntan, 1982). El porcentaje de cenizas en los ácidos húmicos es de 3-4 y en los fúlvicos de 7-10. Este alto

porcentaje en los ácidos fúlvicos señala la existencia de firmes uniones (posiblemente intracomplejas) con metales que sustituyen al hidrógeno, por lo cual, el contenido de este último puede resultar más bajo, (Kolmans y Vásquez, 1996; Pérez *et al*, 2002).

El porcentaje de carbono en los ácidos húmicos aumenta regularmente de los suelos podzol al suelo gris oscuro forestal y al chernozom; un descenso de esta magnitud se observa en los ácidos húmicos del suelo castaño y sierozem. Relación inversa se registra en el porcentaje del contenido de hidrógeno. Según estos datos, cambia claramente la relación C:H en la composición elemental de los ácidos húmicos, (Kolmans y Vásquez, 1996; Tinico y Almendros, 2000).

En el grupo de los ácidos húmicos están englobadas las materias que se extraen del suelo por disolventes (NaOH, KOH, NH₄OH, Na₂ HCO₃, Na₄P₂O₇, NaF, oxalato sódico, urea, y otros), y que al acidificar con ácidos minerales, se precipitan de las soluciones obtenidas en forma de gel oscuro, (Kononova, 1982).

4.2.6.3. ÁCIDOS FÚLVICOS

Fracción que permanece en solución en medio ácido tras el tratamiento con pirofosfato. Está compuesta por polisacáridos, ácidos urónicos, aminoácidos, compuestos fenólicos, etc. Se originan en los casos en que la humificación se realiza con poca actividad biológica. Se diferencian de los ácidos húmicos por su menor peso molecular, (Urbano, 2001).

Poseen unidades estructurales similares a la de los ácidos húmicos, sin embargo, presentan una unidad nuclear poco pronunciada habiendo un predominio mayor de cadenas laterales. Este predominio, representado por una relación estructuras aromáticas/cadenas laterales, inferior en los ácidos fúlvicos, explicaría una mayor solubilidad de éstos con respecto a los húmicos y un menor grado de policondensación, incluso aunque los tamaños moleculares puedan ser parecidos, (Labrador, 1996; Reyes, 2012).

Los ácidos fúlvicos, por otra parte, se distinguen por su contenido superior en grupos funcionales ácidos carboxílico e hidroxifenólico y por tanto por su mayor capacidad para actuar destructivamente sobre los minerales, (Labrador, 1996)

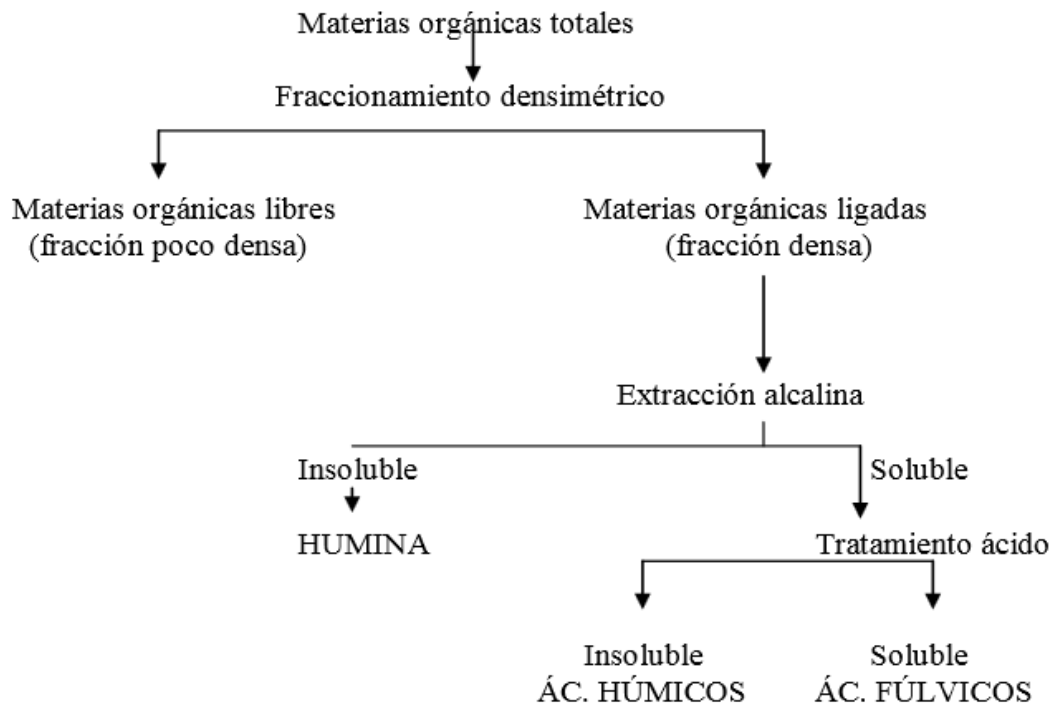


Figura 4.17: Características de los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas

Tabla 4.5: Características de los ácidos húmicos, fúlvicos y huminas

PROPIEDADES	ÁCIDOS FÚLVICOS	ÁCIDOS HÚMICOS	HUMINAS
Color	Amarillo a pardo	Pardo a negro	Negro
Peso molecular	Bajo	Medio	Alto
% de carbono	40-50	55-60	>55
% de nitrógeno	<4	3-4	>4
% de oxígeno	44-48	33-36	32-34
Grupos funcionales (meq/g)			
Acidez total	10-14	6-10	5-6
Grupos carboxílicos (COOH)	8-9	2-5	3-4
Grupos metoxílicos (OCH ₃)	<0,5	<0,5	<0,5

4.2.6.4. NITRÓGENO EN LOS ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

En la actualidad el nitrógeno se considera como parte constitucional de las moléculas de los ácidos húmicos y su contenido es del 3,5-5,0 %. Una parte del nitrógeno, aproximadamente la mitad, pasa a la solución en el caso de producirse una hidrólisis ácida; esta parte está representada por amidas, mono y di aminoácidos, cuya relación resultó ser característica para las proteínas de origen animal y vegetal, (Estévez, 2006). La mayoría de los autores señalan que el contenido de aminoácidos de los ácidos húmicos de distintos suelos, es en general homogéneo, aunque la capacidad de hidrolizar el nitrógeno en los diferentes ácidos húmicos es distinta. La situación del nitrógeno en las moléculas de las sustancias húmicas es muy importante, ya que determina en cierta medida la accesibilidad de éste a los microorganismos, (Estévez, 2006; Silva, 2008)

4.2.6.5. ESTRUCTURA MOLECULAR DE ÁCIDOS HÚMICOS

Actualmente se sabe que los ácidos húmicos son compuestos poliméricos, y que por tanto están constituidos por monómeros, que a su vez están formados por otras unidades estructurales. Entre las unidades citadas, destacan los compuestos aromáticos de tipo fenólicos y nitrogenados, tanto cíclicos (indol, pirimidina, purinas y otros), como aminoácidos alifáticos, (Carpena, 1969).

La estructura molecular de los ácidos húmicos corresponde a una macromolécula en general. Es decir, nos encontramos ante macromoléculas complejas formadas por estructuras de carácter aromático, a las que se unen aminoácidos, péptidos, ácidos alifáticos y otros compuestos orgánicos, dando la impresión, al visualizarlas al microscopio electrónico, de estar formadas por partículas planas y redondeadas que se unen entre sí, formando un retículo esponjoso, (Almendros *et al*,1983; Stevenson y Schnitzer,1982)

Las moléculas de los ácidos húmicos no son compactas, sino que poseen una estructura blanda "esponjosa", con multitud de poros internos. Estos grados de estructura determinan de forma significativa su capacidad de retención de agua y sus propiedades de sorción. De este modo, la *hidrofilicidad* depende de la proporción de rejillas aromáticas del carbono en las moléculas, ya que poseen propiedades hidrófobas, y de los radicales laterales, portadores de los grupos hidrófilos. También la presencia de grupos hidrófilos determina la tendencia de las materias orgánicas a formar compuestos intracomplejos (quelatos) con cationes polivalentes, (Estévez, 2006).

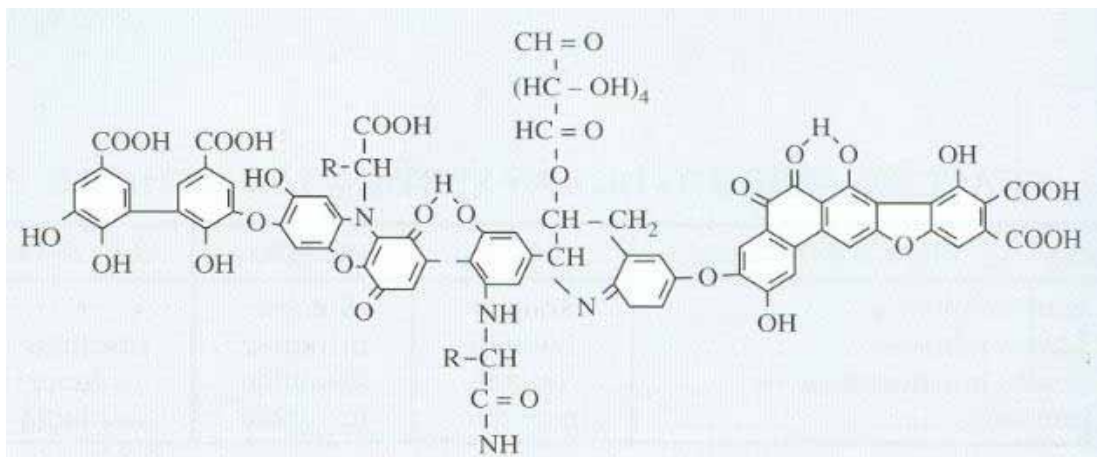


Figura 4.18: Estructura molecular de los ácidos Húmicos Stevenson, 1982)

En lo que se refiere al peso molecular de los ácidos húmicos, aparecen ciertos problemas en su determinación debido a la inhomogeneidad propia de los polímeros. Por eso los índices obtenidos por distintos autores dependen mucho de las condiciones en que se efectúa la determinación y, en particular, de la desagregación de las partículas de los ácidos húmicos que se alcanzan empleando un disolvente u otro, (Carpena, 1969; Zapata, 2006; Estévez, 2006).

4.2.6.6. FUNCIÓN DEL HUMUS EN EL SUELO Y PLANTA

El humus le proporciona un color oscuro al suelo, que favorece la absorción de los rayos solares y, por tanto, un aumento de la temperatura, actúa como un moderador

de las variaciones de temperatura en el suelo dado su débil calor específico. El humus sirve de soporte a una multitud de microorganismos, que hacen del suelo un medio vivo, (Blaya y García, 2003) Y es aquí donde entran a jugar un papel decisivo las sustancias húmicas, que exaltan la capacidad de absorción y translocación de nutrientes por las plantas, de manera que cada proceso de biosíntesis se ve optimizado con beneficios productivos y cualitativos, (Dubini, 1995).

Desde el punto de vista de las plantas, conviene distinguir entre los efectos indirectos y directos de las sustancias húmicas.

Centrándonos en los indirectos, la materia orgánica humificada puede mejorar la fertilidad del suelo a través de su efecto sobre diversas propiedades del mismo, como ya se expuso anteriormente:

- ✚ Aporte de nutrientes (N, P, K, etc.) a las raíces, (Varanini y Pinton 1995).
- ✚ Mejora de la estructura del suelo, incidiendo de ese modo en la relación agua-aire en la rizosfera, (Piccolo y Mbagwu, 1997).
- ✚ Incrementa en el suelo la actividad microbiana, (Ocio y Brookes., 1990).
- ✚ Aumento de la capacidad de intercambio catiónico y de la capacidad búfer del suelo, (Barón *et al*, 1995).
- ✚ Formación de complejos estables con Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y otros cationes polivalentes y aumento así de la disponibilidad de micronutrientes para las plantas, (Albuzio *et al* 1994).
- ✚ Aporte de sustancias húmicas que actúan como transportadoras de nutrientes, (Varanini y Pinton, 1995).
- ✚ Oscurecimiento del suelo, de manera que facilite su calentamiento, (Gallardo, 1980).
- ✚ A través de su combinación con plaguicidas puede afectar a su bioactividad, persistencia y biodegradabilidad, (Carlsen *et al*, 1994).

Respecto a los efectos directos, de carácter bioestimulante, que derivan del empleo de las sustancias húmicas como productos de acción fisiológica, sobre las plantas, han sido objetivo de muchos estudios, principalmente su forma de absorción y el lugar de transporte de dichas sustancias, (Reyes, 2012).

CAPÍTULO

5

CAPÍTULO 5

MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MUESTREO DE SUELOS

El muestreo de suelos es un procedimiento para la obtención de una o más muestras representativas en un terreno, (Valdez, 2012). Una muestra del suelo es usualmente empleada para evaluar sus características físicas químicas y textura principalmente. La muestra consiste en una mezcla de porciones de suelo (submuestras) tomadas al azar de un terreno homogéneo, (ICA, 1992).

El muestreo se desarrolló en nueve municipios del estado de Michoacán pertenecientes a la franja aguacatera, identificando huertos de aguacate con manejo orgánico, huertos de aguacate con manejo convencional y áreas con vegetación forestal, predominando los bosques de coníferas.

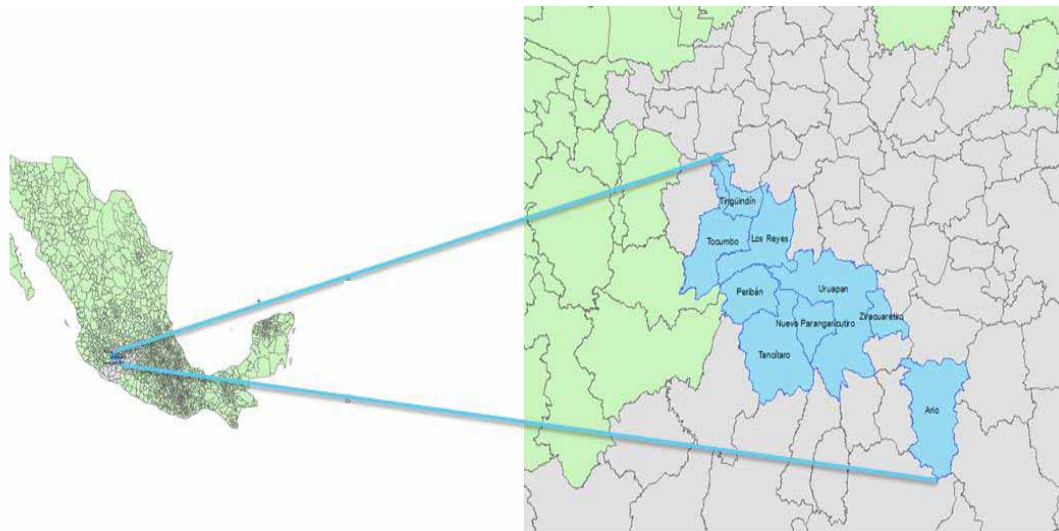


Figura 5.1: Mapa de la zona de estudio

Los sitios de muestreo fueron:

Ario de Rosales: situado entre las coordenadas $19^{\circ} 12'$ latitud norte y $101^{\circ} 40'$ longitud oeste; a una altitud promedio de 1,910 metros sobre el nivel del mar, con una extensión territorial de 694.60 kilómetros cuadrados.

Los Reyes: Situado entre las coordenadas $19^{\circ} 35'$ latitud norte $102^{\circ} 28'$ longitud oeste; a una altitud promedio de 1,300 metros sobre el nivel del mar y su extensión territorial está constituida por 480.09 kilómetros cuadrados.

Ziracuaretiro: Situado entre coordenadas geográficas $19^{\circ} 26'$ latitud norte y entre $101^{\circ} 55'$ longitud oeste: una altitud promedio de 1,380 metros sobre el nivel del mar con una extensión territorial de 159.60 kilómetros cuadrados.

Uruapan: Situado entre las coordenadas geográficas $19^{\circ} 25'$ latitud norte y $102^{\circ} 03'$ longitud oeste: una altitud promedio de 1,620 metros sobre el nivel del mar y constituido por una extensión territorial que abarca 954.17 kilómetros cuadrados.

Tingüindín: Situado entre las coordenadas geográficas $19^{\circ} 44'$ latitud norte y entre $102^{\circ} 29'$ longitud oeste: tiene una altitud promedio de 1,700 metros sobre el nivel del mar y la extensión territorial de dicho municipio es de 174.24 kilómetros cuadrados.

Tocumbo: Situado entre las coordenadas 19°42' de latitud norte y 102°32' de longitud oeste; a una altitud promedio de 1,600 metros sobre el nivel del mar y constituido por una superficie territorial de 506.85 kilómetros cuadrados.

Tancitaro: Situado entre las coordenadas geográficas 19° 09' ' de latitud norte y 102° 11' de longitud oeste; a una altitud que va desde los 900 a los 3 800 metros sobre el nivel del mar; y constituido por una extensión territorial de 717.65 kilómetros cuadrados.

Periban: Situado entre las coordenadas geográficas 19° 31' latitud norte y entre 102° 25' longitud oeste; a una altitud promedio de 1,640 metros sobre el nivel del mar y en términos generales está constituido por una superficie territorial de 331.87 kilómetros cuadrados

Nuevo Parangaricutiro: Situado entre las coordenadas geográficas 19° 25' latitud norte y 19° 25' longitud oeste; a una altitud promedio de 1,880 metros sobre el nivel del mar, y está constituido por una superficie territorial total de 234.31 kilómetros cuadrados.

Los municipios presentan las siguientes características similares:

Clima A w1 (w), temperatura 20-22°C, precipitación anual 800- 1200mm, humedad relativa 70-90%, con de 1-4 granizadas anuales y posibilidad de 0-10 heladas anuales. Suelo andosol (92,7%), luvisol (5,8%), cambisol (0,63%), acrisol (0,44%), vertisol (0,43%), (Gutiérrez et al, 2010).

En cada municipio se obtuvieron muestras de suelo (0 a 40 cm de profundidad) en los siguientes sistemas de uso de la tierra que fungieron como tratamientos:

- **Áreas con vegetación forestal.**
(TRATAMIENTO 1)
- **Huertos de aguacate con manejo convencional.**
(TRATAMIENTO 2)
- **Huertos de aguacate con manejo orgánico.**
(TRATAMIENTO 3)



Figura 5.2: Muestreo de suelo en un sitio con vegetación Forestal



Figura 5.3: Muestreo de suelos en huertos de aguacate con manejo convencional.



Figura 5.4 Muestreo de suelos en huertos de aguacate con manejo orgánico.

El diseño de muestreo consistió en el trazo de una malla imaginaria sobre los municipios a muestrear para que de manera sistemática se lograran ubicar las unidades muestréales en un patrón regular en toda la zona de estudio, determinado así las áreas aproximadas del muestreo. Como se observa en la figura 5.5.

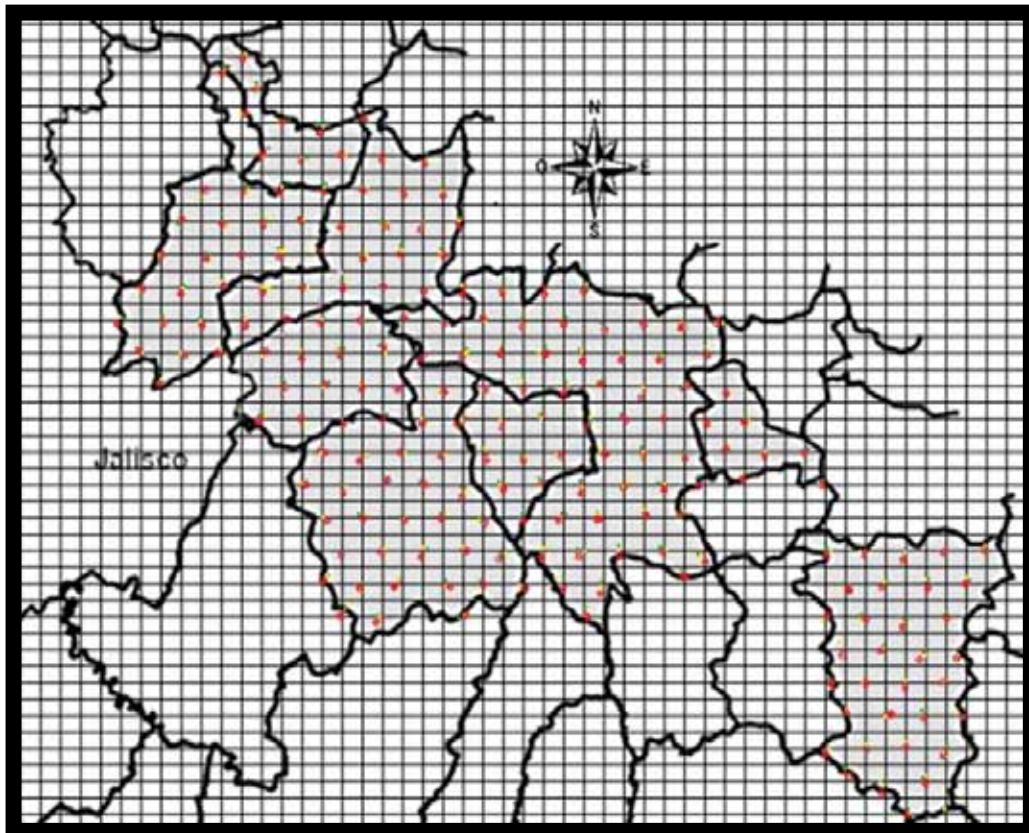


Figura 5.5: Puntos de muestreo sistemático en los municipios de estudio.

Posteriormente se realizó un muestreo aleatorio estratificado, el cual consiste en separar las áreas de muestreo en estratos que presenten cierta homogeneidad en sus características topográficas y edáficas, una vez teniendo la identificación de estratos, dentro de cada uno de estos se realizó un muestreo aleatorio simple, (Mostacedo y Fredericksen, 2000)

En la figura 5.6, se puede observar un esquema que representa una parcela con diferentes estratos (pendiente, ondulado y plano).

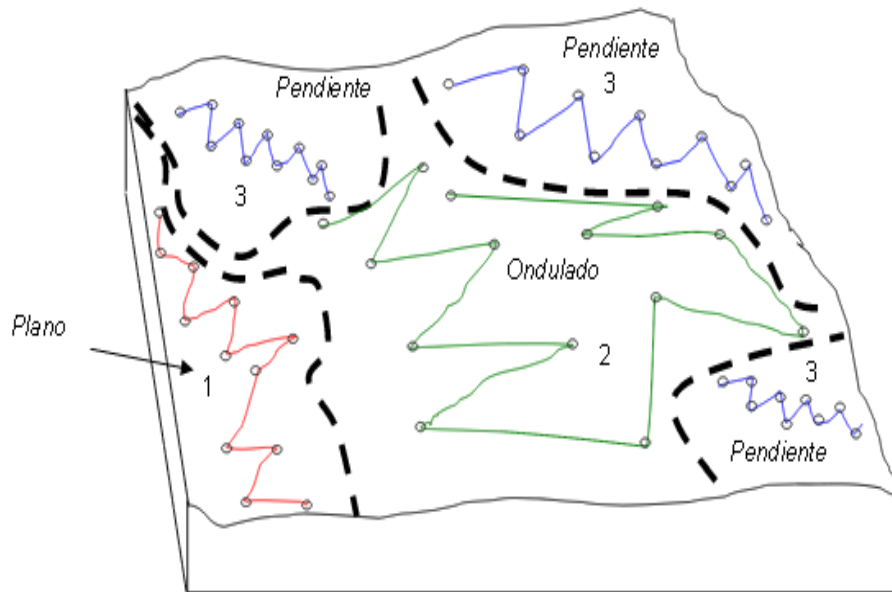


Figura 5.6: Parcela estratificada para muestreo.

Una vez realizadas las estratificaciones adecuadas en nuestra área de estudio, se obtuvieron un total de 208 sub-muestras para las huertas de aguacate con manejo de agricultura convencional, 102 para las áreas con vegetación forestal y 63 muestras para los huertos de aguacate con agricultura orgánica, esta última es menor, ya que la mayoría de la producción es de manera convencional.



Figura 5.7: Sub-muestras recolectadas

Las sub-muestras de cada tratamiento se, colocaron en el suelo y se mezclaron por municipio en forma independiente, dando como resultado 9 sub-muestras para cada tratamiento.

Finalmente se mezclaron las sub-muestras de los nueve municipios en cada tratamiento, obteniendo la muestra compuesta para la zona de estudio (Ario, Los Reyes, Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Tancítaro, Tingüindín, Tocumbo, Uruapan y Ziracuaretiro), por tratamiento y con tres repeticiones cada una.

MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Palas rectas
- Cinta métrica
- Bolsas de plástico
- Bolsas de papel
- Estacas
- Etiquetas par muestreo

5.1.1. CONSERVACION DE LA MUESTRA

Se envasaron todas las muestras en bolsas de papel especial para suelos, que permiten la aireación y conservan sus propiedades en estado natural.

Se etiquetaron los siguientes datos relevantes a cada muestra:

1. Tipo de manejo en suelo.
2. Número de repetición
3. Cantidad de sub-muestras tomadas para formar la muestra.
4. Observaciones.
5. Fecha.

Se conservó la muestra en lugar fresco, no húmedo, en espera de realizar los análisis.

5.2. CARACTERIZACION FÍSICA DEL SUELO

5.2.1. COLOR

El color del suelo es una propiedad que refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo, (FAO, 2009)

La determinación del color del suelo se realizó in situ, bajo condiciones uniformes y de humedad los colores se determinaron sin la incidencia directa de los rayos solares y mediante la comparación de un agregado (ped) recientemente quebrado, usando las notaciones para matiz, valor y croma como se da en la Carta o Tabla de Colores de Suelo Munsell, (Munsell, 1975).

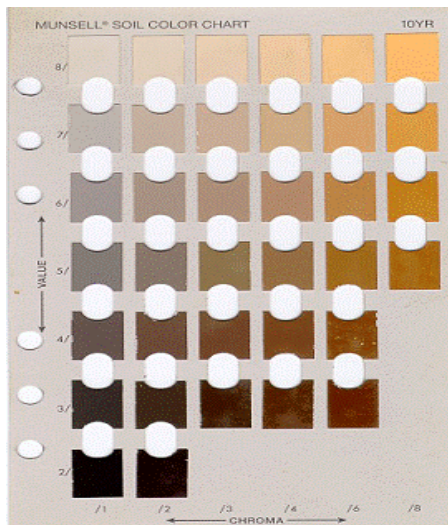


Figura 5.8: Tabla de colores de Munsell



Figura 5.9: Determinación de color

MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Palas rectas
- Cinta métrica
- Tabla de colores de Munsell

5.2.2. GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

Establecer el tamaño y/o la granulometría de las partículas que componen un suelo, proporciona información complementaria sobre la morfología y topografía de este, además permite obtener una correlación, suponiendo que exista, entre el tamaño de partícula, la movilidad y la disponibilidad de los nutrientes, metales y contaminantes en el suelo, (Barceló 2000).



Figura 5.10: Trituración de muestras de suelo



Figura 5.11: Separación de los diferentes cedazos

Para conocer el tamaño de partícula de la muestra de suelo de los diferentes tratamientos primero se secó, se colocó en recipientes de porcelana para ser secado en estufa, controlando la temperatura a 70°C por 24 horas. Una vez seco el sedimento, se trituró lo más finamente posible en un mortero de porcelana, para ser vertidos en un conjunto de tamices Tyler de forma descendente al tamaño de la malla

en el siguiente orden: 8, 16, 18, 30 y 100. Se pesaron 100 g de la muestra y posteriormente se agitaron los tamices durante 10 minutos manualmente.

El suelo retenido en cada tamiz se separó, se pesó y se almacenó en recipientes debidamente etiquetados.

MATERIALES

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Tamices tipo Tyler
- Crisoles de porcelana
- Estufa

5.2.3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD



Figura 5.12: Muestras de suelo secadas en estufa



Figura 5.13: Mufla

La determinación de la humedad de los tratamientos (suelo con vegetación forestal, suelo con manejo convencional y suelo con manejo orgánico) se realizó por el método Gravimétrico el cual se basa en la medición de la cantidad de agua, expresada en gramos, que contiene una muestra.

Se colocaron los crisoles a una temperatura de 550 °C en la mufla por un periodo de 8 hrs, los crisoles fueron retirados con las pinzas y colocados en el desecador, se registró su peso y se colocaron nuevamente en la mufla por el mismo período, se registró nuevamente su peso y se anotaron las diferencias, no se repitió el procedimiento debido a que las diferencias fueron mínimas, este fue el peso constante de los crisoles. Se utilizaron 50 gramos de muestra y se pusieron en los crisoles de peso constante, posteriormente se colocaron en la estufa por un periodo de 24 hrs a 105°C.

Finalmente se registró el peso de los crisoles y de la muestra al final del periodo, calculando así las diferencias en el peso, obteniendo la pérdida de agua en el proceso. Y determinado el porcentaje de humedad en la muestra.

$$\% \text{ humedad} = \frac{[(PC + PHM) - (PC + PHS)]}{[(PC+PHM) - PC]} \times 100$$

Dónde:

PC= peso constante del crisol

PHM= peso húmedo de la muestra

PHS= peso seco de la muestra

MATERIALES:

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Desecador
- Báscula analítica (± 0.001 g de precisión)
- Mufla
- Crisoles de porcelana
- Pinzas

5.2.4. DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

La densidad aparente del suelo se define como la relación de volumen peso por unidad de volumen de suelo seco (105°C). Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente indica la porosidad total del suelo. Los valores de la densidad aparente del suelo se emplean para conocer capas endurecidas del suelo, presencias de amorfos en andosoles o suelos volcánicos, grado de intemperización y cálculo del peso de una capa del suelo, (Álvarez y Salazar 2006)

Para la determinación de la DAP del suelo, este se secó en la estufa a una temperatura de 105°C por un periodo de 24 horas, En una probeta de 250 ml se puso la muestra de suelo, hasta la marca de 55 ml. Se acomodó el suelo en la probeta dando 35 golpes sobre una superficie suave y blanda, apretando firmemente la probeta con la otra mano, se anotó el volumen total del suelo después de los golpes. Posteriormente se pesó el suelo.



Figura 5.14: Determinación de DAP

MATERIALES:

- Probeta
- Estufa

5.2.5. TEXTURA DEL SUELO. (BOUYOUCOS)

Como definición, la textura del suelo es la proporción relativa de las partículas primarias del suelo, que son arena limo y arcilla, La determinación de la textura del suelo es una propiedad que resulta importante en el estudio de la morfología, la génesis y la clasificación de los suelos.



Figura 5.15: Perfil de un suelo en la región aguacatera

El método del hidrómetro de Bouyoucos consiste en colocar una muestra de suelo en una probeta graduada, dispersar las partículas del suelo y medir la capacidad de flotación del hidrómetro a diferentes periodos de tiempo, para determinar la cantidad de sedimento suspendido.

El método del hidrómetro se basa en la ley de Stokes, cuya ecuación es:

$$V = Kr$$

Dónde: k = Constante y r = radio de la partícula

En la determinación de la textura se pesaron 100g de suelo, cernido con tamiz de 2.36 mm, secado a la sombra a temperatura ambiente. El suelo se colocó en una copa de dispersión y se agregó agua hasta los 12 cm abajo del borde, se agregaron 35 ml de solución defloculante de calgón [hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆ y carbonato de sodio (Na_2CO_3)].



Figura 5.16: Muestras de suelo en copas de dispersión

Posteriormente se colocó el suelo en un vaso de batidora (especialmente diseñado para no moler el suelo) y se batió por 5 min, y se transfirió la suspensión anterior a una probeta graduada de 1000 ml, se lavó el vaso de batidora con agua destilada y se completó el volumen del cilindro.

Se agitó la suspensión 10 veces de manera vigorosa en forma manual y se dejó reposar tomado el tiempo a partir del momento en que se retiró el agitador.



Figura 5.17: Muestra de suelo en vaso de batidora

A los 40 segundos de reposo se realizó la primera lectura con el hidrómetro en el menisco superior, en donde se registró además la temperatura de la suspensión y el tiempo en que se realizó la lectura, al término de esta se retiró el hidrómetro y se enjuago con agua destilada, se dejó en reposo la suspensión por dos horas, al cabo de estas se realizó la segunda lectura sin agitar la muestra, también se registró la temperatura.



Figura 5.18: Medición de textura del suelo

Las lecturas del hidrómetro se corrigieron por temperatura por medio de la tabla 5.1.

Tabla 5.1: Tabla de corrección para temperaturas (Bouyoucos)

15.0	-	1.62	21.5	+	0.18
15.5	-	1.44	22.0	+	0.90
16.0	-	1.26	22.5	+	1.08
16.5	-	1.08	23.0	+	1.26
17.0	-	0.90	23.5	+	1.44
17.5	-	0.72	24.0	+	1.62
18.0	-	0.54	24.5	+	1.80
18.5	-	0.36	25.0	+	1.98
19.0	-	0.18	25.5	+	2.15
19.5	-	0	26.0	+	2.34
20.0	+	0.18	26.5	+	2.52
20.5	+	0.36	27.0	+	2.70
21.0	+	0.54	27.5	+	2.858
			28.0	+	3.06



Figura 5.19: Textura de un suelo en probeta

Se calcularon los porcentajes de arenas, limo y arcillas, los porcentajes se llevaron al triángulo de las texturas y se determinó la clase textural correspondiente a la muestra tratada.

MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS.

- Probetas de 1000 ml
- Copas de dispersión
- Termómetro de laboratorio
- Hidrómetro de Bouyoucos
- Báscula analítica (± 0.001 g de precisión)
- Cronometro
- Agitador manual
- Tamices Tyler (#18,#35,#60,#140,#270)
- Defloculante Calgón

5.3. CARACTERIZACION QUÍMICA DEL SUELO

5.3.1. DETERMINACIÓN DE PH

El pH del suelo expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Este afecta la disponibilidad de nutrientes minerales para las plantas así como a muchos procesos del suelo, (FAO, 2009).

La determinación del pH en los diferentes tratamientos (suelos con vegetación forestal, suelo con manejo convencional y suelo con manejo orgánico) se realizó mediante el método electrométrico normado en NOM-021-RECNAT-2000, el cual se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. se midió potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2.

Se Pesaron 10 g de suelo en un vaso de precipitados y se adicionaron 20 ml. de agua destilada al vaso que contuvo el suelo, con una varilla de vidrio, se agito manualmente la mezcla de suelo: agua a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos, se dejó reposar durante 15 minutos.

Se Calibro el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.

Al momento de tomar la lectura se agito nuevamente la suspensión, introduciendo el electrodo en la suspensión. El pH se registró al momento en que la lectura se estabilizo.

MATERIAL Y EQUIPO

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Potenciómetro o medidor de pH equipado con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia.
- Potenciómetro Hannah instruments HI 98150
- Balanza con 0.1 g de sensibilidad.
- Vasos de precipitado 50 ml.
- Pipeta volumétrica de 20 ml.
- Varilla de vidrio, agitador manual.
- Agua destilada
- Soluciones Buffer pH 4, 7

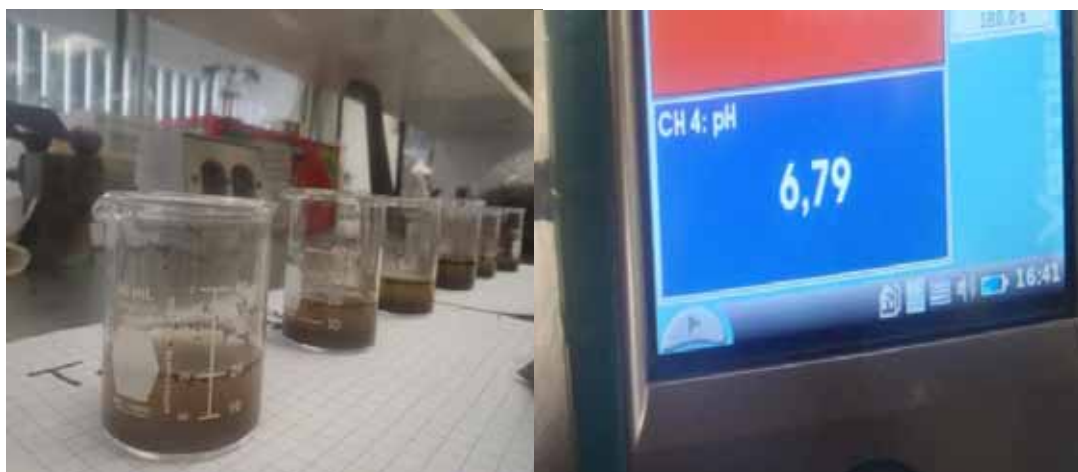


Figura 5.20: Determinación de pH en laboratorio

5.3.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y POTENCIAL REDOX

La conductividad eléctrica o conductancia es uno de los índices más difundidos para evaluar la concentración salina del suelo y el potencial Redox determina el estado de aireación del suelo y la disponibilidad de algunos nutrientes, (FAO, 2009).

La determinación de estos parámetros se realizó con el potenciómetro Hannah instruments HI 98150 y el vernier LabQuest de acuerdo al siguiente procedimiento. Se pesaron 10 g de la muestra y se agregaron 20 ml de agua de-ionizada, se agito durante 10 min y se dejó reposar durante media hora. Posteriormente se midió la conductividad y potencial Redox



Figura 5.21: Determinación de conductividad eléctrica en laboratorio

MATERIAL Y EQUIPO

Se utilizaron los siguientes materiales:

- Medidor de CE equipado con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia.
- Potenciómetro Hannah instruments HI 98150
- Balanza con 0.1 g de sensibilidad.
- Vasos de precipitado 50 ml.
- Pipeta volumétrica de 20 ml.

- Varilla de vidrio, agitador manual.
- Agua destilada

5.3.3 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

La CIC o capacidad de intercambio catiónico es la capacidad del suelo para retener e intercambiar diferentes elementos minerales. Esta capacidad aumenta notablemente con la presencia de materia orgánica, y podría decirse que es la base de lo que llamamos fertilidad del suelo (INE, 1999).

Para la determinación de CIC se pesaron 5 g de suelo previamente secado al aire y tamizado por malla tipo Tyler de 2 mm y se transfirió a un tubo para centrifugar de 50 ml. Se agregaron 33 ml de solución de acetato de amonio, se tapó y se agitó en posición durante 10 minutos. Posteriormente, se centrifugó a 2500 rpm hasta que el líquido sobrenadante quedó completamente claro. Se continuó con la decantación del líquido en un matraz de 100 ml y se repitió la extracción otras dos veces, se desechó el sobrenadante y a lo restante se agregaron 30 ml de solución de cloruro de amonio 1 N y se agitó durante 10 minutos y después se centrifugó nuevamente hasta que el líquido sobrenadante estuvo claro, se volvió a desechar, se continuó con la adición de 30 ml de solución de cloruro de amonio 0.25 N y se agitó durante 10 minutos, nuevamente se centrifugó y se desechó el sobrenadante. Posteriormente se lavó la muestra con porciones de alcohol de 30 ml agitando durante 10 minutos, centrifugando y eliminando el sobrenadante.

Finalmente se reemplazó el amonio adsorbido con 33 ml de cloruro de sodio al 10%, agitando durante 10 minutos y centrifugando por tres veces. Se decantó cada reemplazo en un matraz volumétrico de 100 ml.

Para la determinación del amonio se tomaron 10 ml de la solución decantada, la cual se transfirió a un matraz tipo Kjeldahl agregando aproximadamente 8 ml de NaOH al 40% y se terminó con la destilación. El producto resultante de la destilación se colocó

en un matraz Erlenmeyer con 10 ml de mezcla de indicadores con ácido bórico. Se realizó la determinación por titulación con HCl 0.01N.

La capacidad de intercambio catiónico expresado en cmol (+) kg^{-1} de suelo (CIC) se calculó de la forma siguiente:

$$\text{CIC} = (\text{F}) (\text{V}) (\text{N}).$$

En donde:

V = volumen (ml) de HCl empleado al titular lo destilado en la solución borada.

N = normalidad del HCl

F = 200, si 10 ml de solución y 5 g de peso de suelo

MATERIAL Y EQUIPO

Se utilizaron los siguientes materiales, equipo y reactivos:

- Tubos de centrifuga de 50 ml con fondo redondo.
- Agitador mecánico.
- Centrifuga
- Matraz volumétrico 100 ml.
- Matraz tipo **kjeldahl**
- Báscula analítica (± 0.001 g de precisión)
- Unidad de destilación.
- Tamiz Tyler (#60)
- Mezcla de indicadores (verde de bromocresol y rojo de metilo),
- Bureta.
- Solución de cloruro de amonio 1 N, 0.25N
- Solución de acetato de amonio
- Solución de HCl 0.01N

5.3.4 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA (M.O)

La materia orgánica del suelo proviene de la raíces, residuos de plantas y organismos vivientes o muertos del suelo; como residuos de las cosechas o de plantas silvestres y carbones, está constituida por varias sustancias como las proteínas, ceras, ligninas, grasas. La descomposición de estos restos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus, (Cano, 2009).

Se determinó el porcentaje de materia orgánica de los tres tipos de suelos siguiendo el método de Walkley y Black, el cual consiste en la digestión vía humedad, en el cual la materia orgánica del suelo se digiere con $K_2Cr_2O_7$ y H_2SO_4 . Donde el calor externo liberado por la reacción, al diluirse el H_2SO_4 ayuda al proceso de oxidación y el exceso de $K_2Cr_2O_7$ sin reducir es determinado por valoración con $FeSO_4$.

Para la determinación de MO se pesó 1 g. De suelo. Se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se agregaron 5 ml de dicromato de potasio 1N y 10 ml de H_2SO_4 concentrado y se dejó reposar por 30 minutos para que la oxidación de la materia orgánica se realizara pasando los 30 minutos se agregaron 100ml de agua destilada y 5ml de ácido fosfórico al 85%, 0.1 g de fluoruro de sodio y también 0.5 ml de difenil-amina como indicador, esta mezcla se agito en giros suaves hasta que se obtuvo una tonalidad de color negro. Finalmente se tituló con sulfato ferroso y el % de M.O. se calculó con la siguiente formula

$$\% \text{ M.O.} = \text{ml. De FeSO}_4 \text{ (blanco - muestra)} \times F$$

$$F = \frac{1N \times 12 \times 1.72 \times 100}{4000 \times 0.77 \times \text{grs. de suelo}} = 0.67$$

En dónde:

12/4000 = meq. Del carbón.

0.77 = se asume que el 77% de la materia orgánica es oxidada.

1.71 = factor de conversión de C a materia orgánica.

Un 58% de la M.O. es carbón.

MATERIAL Y EQUIPO

Se utilizaron los siguientes materiales, equipo y reactivos:

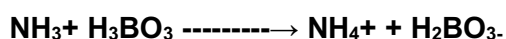
- Balanza analítica.
- Pipetas graduadas de 10ml, 5ml y 1ml.
- Probeta graduada de 100ml.
- Equipo de titulación
- Matraz Erlenmeyer de 250ml.
- Vaso de precipitados de 1000ml.
- Agua destilada
- Cromato de potasio.
- Ácido sulfúrico al 96% (H_2SO_4).
- Ácido fosfórico al 85%.
- Fluoruro de sodio
- Sulfato ferroso hepta-hidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$).
- Difenil-amina.
- Bureta.

5.3.5. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL. MÉTODO KJELDAHL

Para la determinación de nitrógeno total de los diferentes tratamientos se utilizó el método Kjeldahl Modificado por Bremner, 1965, (Bremner. 1996), el cual se basa en tres fases fundamentales.

- ✚ La digestión de cada muestra por calentamiento, con ácido sulfúrico en presencia de una mezcla de sales que actúan como catalizadores facilitando la oxidación de la materia orgánica para convertir el nitrógeno orgánico total y el inorgánico en sulfato de amonio ($(NH_4)_2SO_4$).

- ✚ La destilación, en la cual la mezcla digerida se neutraliza con una base fuerte, como el hidróxido de sodio (NaOH), para formar hidróxido de amonio que por acción de calor se convertirá en amoníaco (NH₃) y agua.
- ✚ La valoración, el amoníaco resultante de la reacción se destila en una solución de ácido bórico, y por comparación con un blanco se determina la cantidad de ácido que reaccionó con el NH₃



5.3.5.1 DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS

Para la digestión de las muestras, se empleó una unidad de digestión de 6 puertos con control de temperatura y recolección de vapores (SO₂ y CO₂). Las muestras se secaron previamente por un periodo de 48 horas a 60 C en estufa y se tamizaron en malla Talyer No. 60; se colocaron 1 gr de muestra en un matraz de cuello largo (matraz tipo Kjeldahl), se adicionaron 5 ml. de ácido sulfúrico y 2g de mezcla de catalizadores (25 g de sulfato de potasio K₂SO₄ + 5 g de sulfato de cobre penta-hidratado CuSO₄ .5H₂O).

Para cada digestión se tuvo el cuidado de controlar la temperatura, al inicio con un calentamiento bajo y se fue aumentando gradualmente hasta que el ácido comenzó a hervir sin emisión de gases, el tiempo de destilación varió de 24 a 36 horas. La presencia de un líquido lechoso color verde-azul nos indicó el final de la digestión, posteriormente se dejó enfriar cada uno de los matraces, para proceder a la neutralización y la destilación del amoníaco.



**Figura 5.22: Equipo de digestión
(NITROGENO KJELDAHL)**

5.3.5.2 DESTILACIÓN

Para la destilación de las muestras, se utilizó una unidad de destilación, la cual consiste en un sistema cerrado de doble cámara, una es utilizada para colocar la muestra a destilar y la otra se utiliza para el calentamiento por medio de una resistencia, la muestra digerida se colocó dentro de la sub cámara, el matraz se enjuago con 25 ml. de agua destilada. Se agregó 15 ml de hidróxido de sodio al 30% para neutralizar el ácido restante y favorecer la formación de amoníaco.

El amoniaco paso a través de la unidad de enfriamiento y se recibió en un matraz que contenía 20 ml de ácido bórico (2%) y mezcla de indicadores (verde de bromocresol al 0.1% y rojo de metilo 0.1%), la presencia de un color verde-azul indica la neutralización del ácido bórico por el amoniaco. Por último esta base se tituló con H_2SO_4 al 0.021 N, la presencia de un color violeta indica el punto final.



Figura 5.23: Equipo de destilación (NITROGENO KJELDAHL)

Antes de realizar cada una de las destilaciones se enjuago el sistema con agua destilada y se dejó en ebullición con agua para eliminar los restos del amoniaco de la de las digestiones anteriores.

Se registraron los mililitros gastados en la titulación y se calculó el % de nitrógeno total.

$$\% \text{ Nitrógeno total} = [\text{ml HCl gastados} \times 0.00014 / \text{g (muestra)}] \times 100$$

$$\text{NITRÓGENO (\%)} = \frac{(\text{T-B}) \times \text{N} \times 1.4}{\text{S}}$$

Dónde:

T = Mililitros de ácido sulfúrico valorado gastados en la muestra.

B = Mililitros de ácido sulfúrico valorado gastados en el blanco.

N = Normalidad exacta del ácido sulfúrico

S = peso de la muestra de suelo.

MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS.

- Unidad de digestión
- Matraz tipo **kjeldahl**
- Báscula analítica (± 0.001 g de precisión)
- Unidad de destilación.
- Mezcla de catalizadores. (K_2SO_4 y $CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- Tamiz Tyler (#60)
- Mezcla de indicadores (verde de bromocresol y rojo de metilo),
- Solución de H_2SO_4 . 0.021 N
- Agua destilada

5.3.6 CARBONÓ ORGÁNICO

El carbono orgánico total del suelo se midió en un equipo TOC MULTI N/C 3000 Analytik Jena, el cual se utilizó con el objetivo de medir carbono orgánico. Este equipo esta acoplado a un horno de combustión para realizar las mediciones en muestras sólidas.

El equipo opera bajo el principio de la combustión catalítica a altas temperaturas, y cuenta con un detector de CO_2 de alta precisión, el cual opera hasta una temperatura de $900^\circ C$, asegurando la digestión total, aún en muestras orgánicas difíciles de oxidar.



Figura 5.24: Equipo TOC MULTI N/C

Para la determinación de carbono las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente, y se realizó por triplicado para cada tratamiento (suelo con manejo orgánico, suelo con manejo convencional y suelo con vegetación forestal).

Posteriormente se analizaron en su conjunto todas las muestras. La medición se realizó con una curva de calibración para carbono con biftalato de potasio ($C_8H_5KO_4$). Se colocaron 0.5 g. de muestra en los contenedores de porcelana del equipo y se calcinaron a $900^{\circ}C$ en el horno de combustión del equipo. Estas fueron ligadas al programa con la curva de calibración antes realizada.



Figura 5.25: Muestras sólidas para ser leídas en TOC MULTI N/C

MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS.

- Equipo TOC MULTI N/C
- Báscula analítica (± 0.001 g de precisión)
- Contenedores de porcelana
- Solución de Biftalato de Potasio

5.3.7 DETERMINACION DE METALES

Los metales en el suelo pueden alterar algunas condiciones de este, tales como soporte físico, que de acuerdo con sus características físico-químicas y mecánicas, además de provocar alteraciones en la fertilidad, productividad potencial, sostenibilidad y calidad ambiental, (Alcalá 2012).

Para la determinación de metales totales se utilizó la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AA), se empleó un equipo Thermo Elemental modelo SOLAAR M.



Figura 5.26: Equipo Absorción Atómica (AA)

Para cada metal se realizó una curva de calibración, las cuales se prepararon a partir de estándares de una concentración conocida de 1,000 ppm (mg/L), para cada caso se tomaron 10 ml y se aforaron a 100 ml para obtener una concentración de 100 ppm; de esta solución se tomaron diferentes volúmenes para obtener distintas concentraciones, la correlación permitida para la absorbancia-concentración fue de 0.995, todos los metales se determinaron por la técnica de flama.

5.3.7.1 DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS

Se pesaron por triplicado 0.5 g de muestra de cada uno de los tratamientos (suelo con manejo orgánico, suelo con manejo convencional y suelo con vegetación forestal) la muestra se secó, y cernió a través de una malla Tyler No 60 (0.250 mm), posteriormente se les añadió a cada una de las muestras 10 ml de agua destilada, 10 ml de HNO₃ concentrado grado analítico Baker y 2 ml. de HF, para someterse al horno de microondas en donde se utilizó 1 rampa de calentamiento de 20 min, con una potencia de 1200w (80%), 120 psi y una temperatura de 140°C.



Figura 5.27: Muestras para equipo de microondas

Finalmente las muestras se aforaron a 100 ml, para su posterior análisis por Absorción Atómica.



Figura 5.28: Muestras aforadas para leerse por Absorción Atómica

MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS

- Unidad Thermo Elemental modelo SOLAAR M.
- Matraz aforado 100 ml
- Báscula analítica (± 0.001 g de precisión)
- Soluciones estándar 1000 ppm (Cu, Pb, cd, Zn, K, Mo)
- Ácido nítrico y fluorhídrico
- Tamiz Tyler (#60)
- Horno de microondas
- Agua destilada

5.3.8. ACIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS.

Para la determinación de ácidos húmicos y fúlvicos se utilizó la técnica sugerida por Fassbender y Bornemisza, 1989, la cual se base en el fraccionamiento y separación secuencial de estos ácidos por medio de una base y un ácido.

Para llevar a cabo las diferentes extracciones se prepararon las siguientes soluciones: H_3PO_4 2M. $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0.1M. y NaOH 0.1M HCl 2M. y todas las muestras de cada tratamiento se efectuaron por triplicado

5.3.8.1. EXTRACCIONES DE MATERIA ORGÁNICA LIGERA (MOL) Y ÁCIDOS FÚLVICOS LIBRES (AFL).



**Figura 5.29: Equipo de agitación
Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos**

Se colocaron 3 g de cada suelo seco, molido y tamizado a través de una malla Tayler No. 8 en un tubo de centrifugación de 30 ml. Se añadió 15 ml de H_3PO_4 2M, se agitó por 30. Para la filtración se utilizó un papel filtro Whatmann No. 16, separando el líquido sobrenadante del residuo sólido.

El residuo sólido retenido en el papel filtro contiene la MOL de los residuos de suelo no humificados. El líquido filtrado (acidificado) contiene una pequeña fracción de AFL, (Dabin, 1976).

5.3.8.2. EXTRACCIONES DE PIROFOSFATO ÁCIDO FÚLVICO (PFA), PIROFOSFATO ÁCIDO HÚMICO (PHA), SODA ÁCIDO FÚLVICO (SFA) Y SODA ÁCIDO HÚMICO (SHA).

Se añadieron 15 ml. de 0.1M de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ se agitó durante 4 horas y se dejó reposar toda la noche. Se filtró con el papel filtro Whatmann #16, para separar el líquido del material sedimentado, se transfirió el líquido sobrenadante a un matraz de 100 ml.

Al sólido retenido en el papel filtro se le adicionó NaOH 0.1M, para la siguiente extracción, se agito durante 4 horas, se filtró con el papel filtro Whatmann, para separar el líquido del material sólido.



**Figura 5.30: Equipo de filtración
Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos**

5.3.8.3. EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS FÚLVICOS Y ÁCIDOS HÚMICOS.

Los ácidos húmicos de cada una de las extracciones del pirofosfato y de la sosa, fueron separados de los ácidos fúlvicos por acidificación a pH=1 con HCl 2M. Se dejó reposar por 24 horas a temperatura ambiente, se separó la materia soluble (ácido fúlvico) de la materia sedimentada (ácido húmico) por centrifugación.



**Figura 5.31: Centrifuga
Extracción de ácidos húmicos y fúlvicos**

5.3.8.4. CUANTIFICACIÓN DE LOS EXTRACTOS.

La cuantificación de carbono y nitrógeno en los ácidos fúlvicos y húmicos, se llevó a cabo mediante el método de Walkley & Black y Keldahl respectivamente.

MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS.

- Tubos de polipropileno
- Soluciones de H_3PO_4 , $Na_4P_2O_7$, NaOH y HCl
- Agitador magnético
- Papel filtro whatman #16
- Analizador COT
- Centrifuga.

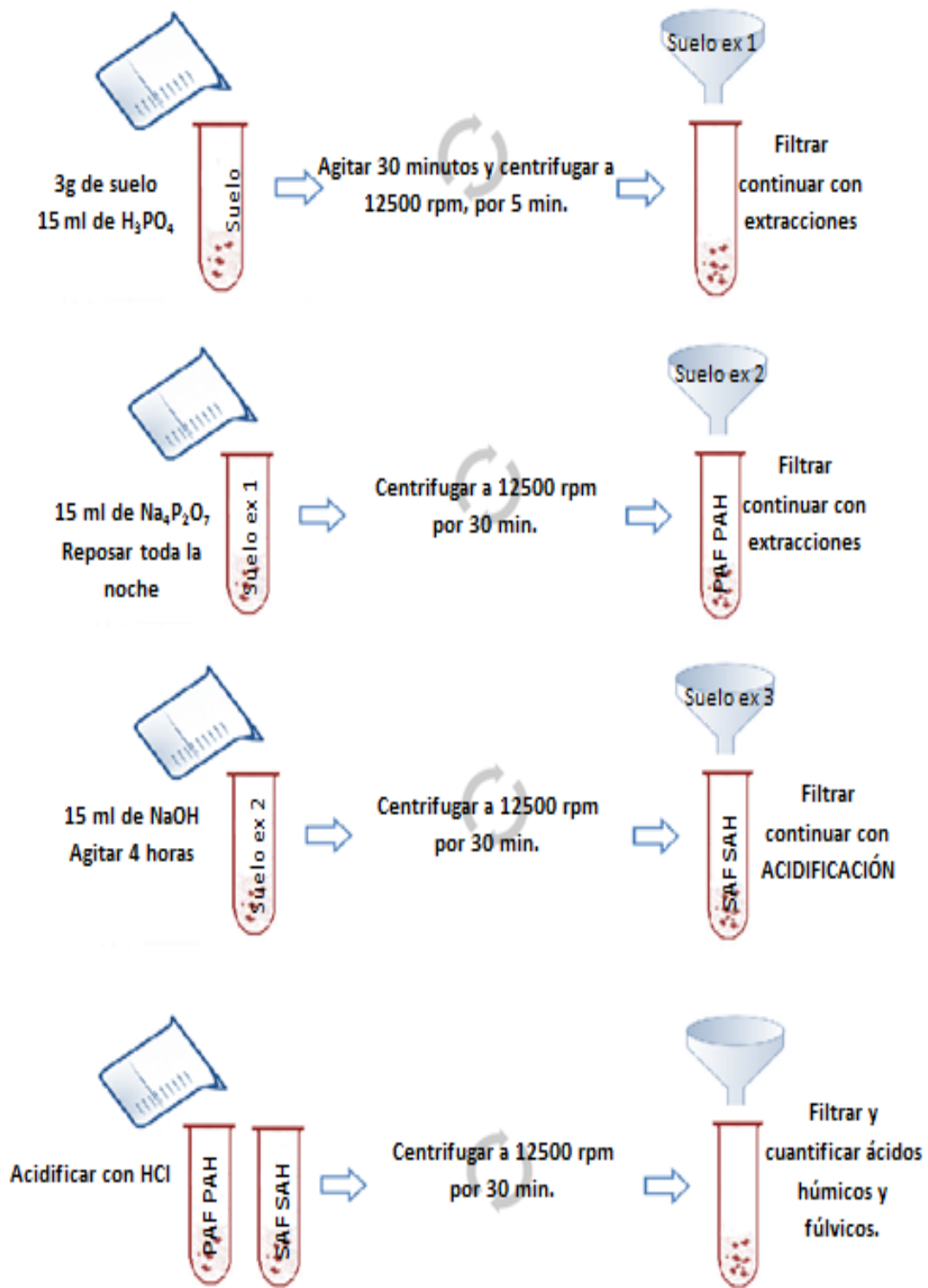


Figura 5.32: Diagrama de extracción de ácidos húmicos y fúlvicos

La determinación del fósforo se realizó por espectrofotometría UV-Visible. Se utilizó un espectrofotómetro UV Shimadzu, modelo UV-160 para las lecturas de absorbancia de las muestras.

5.3.9.1. DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS.

Las muestras fueron secadas por un periodo de 48 hrs. a 60°C en una estufa convencional, posteriormente se tamizaron con una malla No. 60(0.250 mm). Se tomaron 0.5 g de esta muestra y se adicionaron 10 ml de agua destilada, 10 ml de HNO₃ concentrado grado analítico Baker y 2 ml. de HF se procedió a realizar la digestión en el horno de microondas MARS 5; en donde se utilizó 1 rampa de calentamiento de 20 min, con una potencia de 1200w (80%), 120 psi y una temperatura de 140°C.

Después de los 20 minutos se empezó con la rampa de enfriamiento hasta llegar a temperatura ambiente. Las soluciones digeridas fueron filtradas se aforaron a 25 ml con agua des-ionizada.

5.3.9.2 CURVA DE CALIBRACIÓN.

Para la formación del complejo se utilizó una solución de molibdato y metavanadato de amonio, se disolvieron 40 gramos del molibdato de amonio y 2 gramos de metavanadato en 250 ml. de agua caliente (50°C), se adicionó 450 ml de HCl al 70% finalmente y se aforó a dos litros.

Se preparó una solución de KH_2PO_4 (52.15% P_2O_5) aforada a un litro con agua desionizada, se tomaron 10 ml de esta solución y 20 ml de la solución de molibdovanadato aforando a 100 ml para obtener soluciones de 2 a 5 mg de P_2O_5

Para determinar la absorbancia máxima, se procedió a tomar 5 ml de la solución de KH_2PO_4 (52.15% P_2O_5) se le agregaron 20 ml de la solución de molibdovanadato y se aforó a 50 ml, finalmente, se procedió a determinar la absorbancia máxima, la cual fue equivalente a una longitud de onda máxima $\lambda = 375.4 \text{ nm}$



Figura 5.33: Preparación de solución madre molibdovanadato

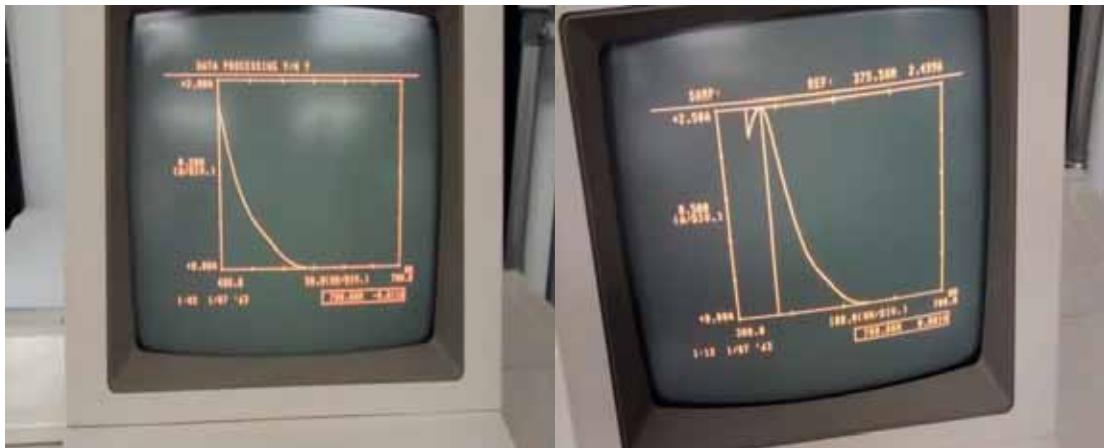


Figura 5.34: Longitud de onda y absorbancia máxima en la determinación de fosforo.

Una vez obtenida la longitud de onda máxima, se preparó un blanco siguiendo los pasos anteriores, pero sin la solución de fosfato. Finalmente se prepararon 10 soluciones estándar para realizar la curva de calibración, con las siguientes alícuotas: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, y 20 ml de una solución fresca de fosfato al 52.15% de P_2O_5 , a cada una se le agregó 20 ml de la solución de molibdo vanadato y finalmente se aforó cada una a 50 ml.

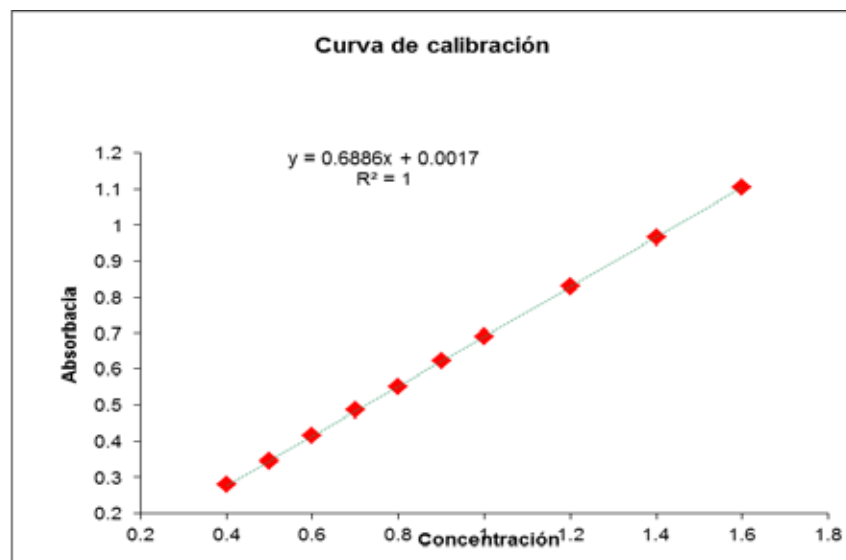


Figura 5.35: Curva de calibración para fosforo.

Se procedió a leer la absorbancia de cada concentración a la longitud de onda (λ) máxima obtenida y aplicando la ecuación de Lambert y Beer, se obtuvo la curva de calibración. Una vez obtenida la curva de calibración, se procedió a leer la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro.

5.4 CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA DEL SUELO

5.4.1 RESPIRACION DEL SUELO “CO₂”

Las mediciones relacionadas con la respiración han sido ampliamente utilizadas para evaluar la actividad general de la biología por debajo del suelo (microorganismos), ya que esta es influenciada por el clima, las propiedades físicas, químicas, y las prácticas agrícolas.

Para la determinación de CO₂ se utilizó la metodología de Borneman 1920, el cual es un método para la medición a largo plazo de la cantidad de CO₂ de la superficie del suelo. Consiste en un cilindro que se utiliza para confinar el CO₂, haciendo reaccionar a este con un álcali. Atrapando CO₂ el cual se determina por titulación.



Figura 5.36: Diferentes tipos de suelo determinación de CO₂



Figura 5.37: Determinación de CO₂

El suelo de los tres tratamientos (suelo con manejo orgánico, suelo con manejo convencional y suelo con vegetación forestal) se secó a temperatura ambiente y se tamizó. Se pesaron 50 gramos de cada tratamiento por 5 repeticiones y se colocaron en cilindros bien sellados, a este suelo se le adiciono 35 ml de agua destilada y un tubo de ensaye con 3 ml de NaOH 1N, y se dejó en reposo por 24 horas.

Una vez pasado este tiempo el NaOH fue retirado de los cilindros y vertido en un frasco con 2 ml de BaCl₂ y de 3 a 4 gotas de fenolftaleína.

Se continuó la titulación con ácido sulfúrico 1N. Se repito este procedimiento por 15 días.



Figura 5.38: Muestras tituladas Determinación de CO₂

Se registraron los mililitros gastados en la titulación y se calcularon los mg de CO₂ en el suelo.

$$\text{Miligramos de CO}_2 = (B - V) * NE$$

Donde.

B = volumen (mililitros) del ácido utilizado para la titulación del NaOH en el testigo

V = Volumen (Mililitros) del ácido utilizado para la titulación del NaOH de los diferentes tratamientos

N= normalidad del ácido

E = Peso equivalente. E=22

5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se efectuó para un diseño de bloques completamente al azar, donde el bloque fue el tipo de suelo. Para efectuar el análisis de varianza se utilizó el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + b_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} es la lectura del tratamiento $i=1, 2,3$, en el $j=1, 2,3$, bloque

μ es la media general

τ_i es el efecto del tratamiento "i", con $i = 1,2,3$.

b_j es el efecto del bloque "j", con $j = 1,2,3$.

ε_{ij} es el error asociado con la lectura del $i=1,2,3$, tratamiento en el $j=1,2,3$, bloque.

El análisis de los datos con el modelo descrito anteriormente se efectuó utilizando los procedimientos del programa SAS: PROC GLM (SAS, 1999). La comparación de medias se analizó utilizando una prueba de Dunnett.

CAPÍTULO

6

CAPITULO 6

RESULTADOS Y SU INTERPRETACIÓN

6.1. INDICADORES FÍSICOS

6.1.1. COLOR (Sistema de notación y Tabla de colores de Munsell)

En la determinación del color se implica la asignación de números y valores establecidos que representan atributos del fenómeno que el ojo percibe como color. Según Soto *et al* (2011), esta medida no describe directamente percepciones de color sino que relaciona el fenómeno psicológico (Color) con el fenómeno físico (Flujo luminoso, longitud de onda etc.) que provoca la percepción. Otros autores como Schulze *et al* (1993) y Schwermann (1993) indican que el color del suelo se relaciona con los componentes sólidos de este. Considerando la tabla de colores de Munsell en los suelos de la región de estudio respecto a color para el suelo forestal y el suelo orgánico se obtuvo como: **Valor > 2 (húmedo) o croma > 2 (húmedo) → Horizonte fúlvico**; mientras que para el suelo con manejo

convencional se identificó un **Croma ≤ 3 (húmedo) y valor ≤ 3 (húmedo) y ≤ 5 (seco)** → **Horizontes móllico y úmbrico**, en este suelo se pudieron observar partículas moteadas, manchas de diferentes colores y sombras de color intercalado con el color dominante del suelo (figura 6.1). Lo que indica que el suelo con manejo convencional fue sujeto a condiciones de alternancia entre mojado (reducción) y secado (oxidación), (FAO, 2009).

Se observó que los suelos evaluados presentan de manera general colores oscuros los cuales se asocian a la presencia de materia orgánica que se descompone en humus, lo que da la coloración oscura al suelo.

Ovalles (2003), indica que al obtener estos colores se pueden sugerir altos niveles de materia orgánica en el suelo, condiciones de buena fertilidad, en especial presencia de cationes tales como el Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ . Organizaciones como la FAO y NRCS asocian este color a condiciones como la presencia de una buena estructura del suelo y una rica actividad biológica.



Figura 6.1: Colores del suelo en los diferentes sistemas de manejo agrícola en huertos de aguacate

Por lo antes expuesto los tres tipos de suelo del presente estudio se consideran con buena estructura aunque esto es solo considerando el factor color.

6.1.2. TEXTURA

Como se indicó en el capítulo 5, se siguió el método de Bouyoucos, donde la clasificación del suelo empleando el triángulo internacional de texturas, se obtuvo lo siguiente.

Tabla 6.1: Textura del suelo estudiado bajo tres diferentes sistemas de manejo.

Tratamiento	Arena	Limo	Arcilla	Clasificación
T1 Forestal	39.12	24.00	36.88	Franco-arcillosa
T2 Convencional	49.12	14.00	36.88	Franco-arcillo-arenosa
T3 Orgánico	53.68	11.44	34.88	Franco-arcillo-arenosa

En la figura 6.2, se indica la distribución en porcentaje (%) de la composición textural del suelo de cada tratamiento

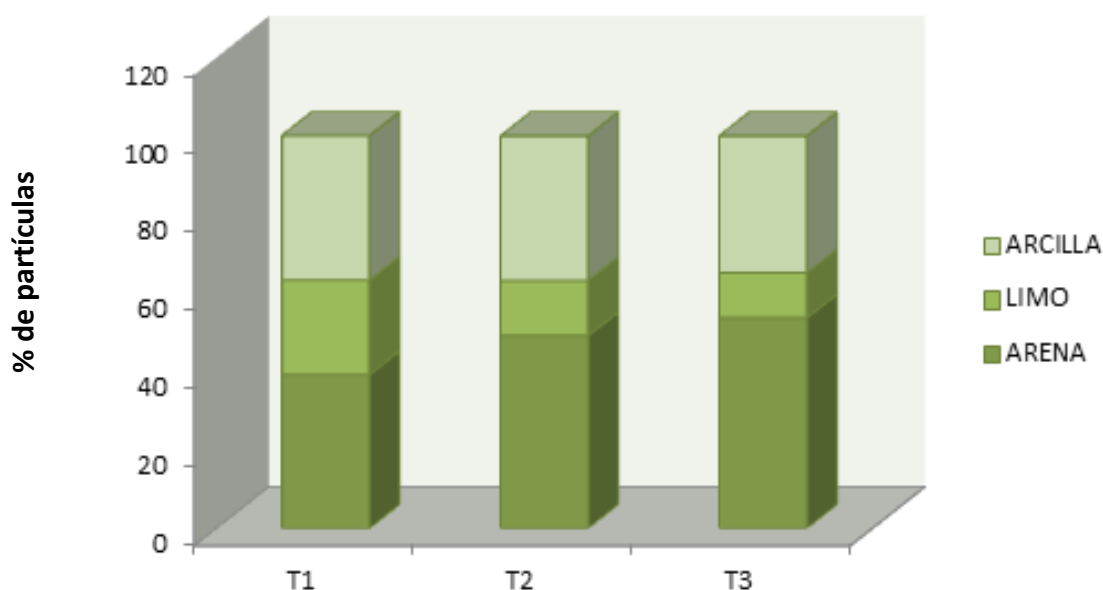


Figura 6.2: Composición porcentual de partículas en los diferentes tratamientos. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

Con base en lo anterior se observa:

- ✚ El tratamiento 1, podría considerarse un suelo relativamente homogéneo, en cuanto a las partículas que integran su estructura (Arenas, Limos y Arcillas).
- ✚ El tratamiento 2 y 3 presentó características similares en cuanto a su textura.

Quiroga *et al* (2006) indica que las fracciones texturales son una variante importante para determinar la calidad de los suelos. En el análisis de los tratamientos podemos observar que si bien no hubo diferencias significativas entre la textura de los suelos con manejo agrícola se observó que existe mejor estructura en el suelo forestal, lo que indica una mayor calidad de este suelo.

6.1.3. GRANULOMETRÍA (Tamizado)

En la tabla 6.2, se muestran los pesos obtenidos en los cedazos correspondientes, también indica el número de la malla por la que fueron pasados y el tamaño de partícula retenida en cada uno de los cedazos.

Tabla 6.2: Granulometría mediante el uso de mallas Tyler

Malla Tyler	Abertura (mm)	T1	T2	T3
+8	2.36	9.3	3.6	5.6
+16	1.13	11.9	5.3	9.3
+18	.960	22.3	19.9	22.8
+30	.590	26.6	36.3	22.6
+100	.150	29.9	34.9	39.9

En la siguiente imagen (figura 6.3) se puede observar que los diferentes tratamientos tienen una tendencia variada, sin embargo el Tratamiento 1 (suelo

forestal) muestra una distribución uniforme según su tamaño, comparada con los otros dos tratamientos (suelos con manejo agrícola). La granulometría del suelo está íntimamente ligada con la textura de este, y coincide con los resultados obtenidos anteriormente (figura 6.2).

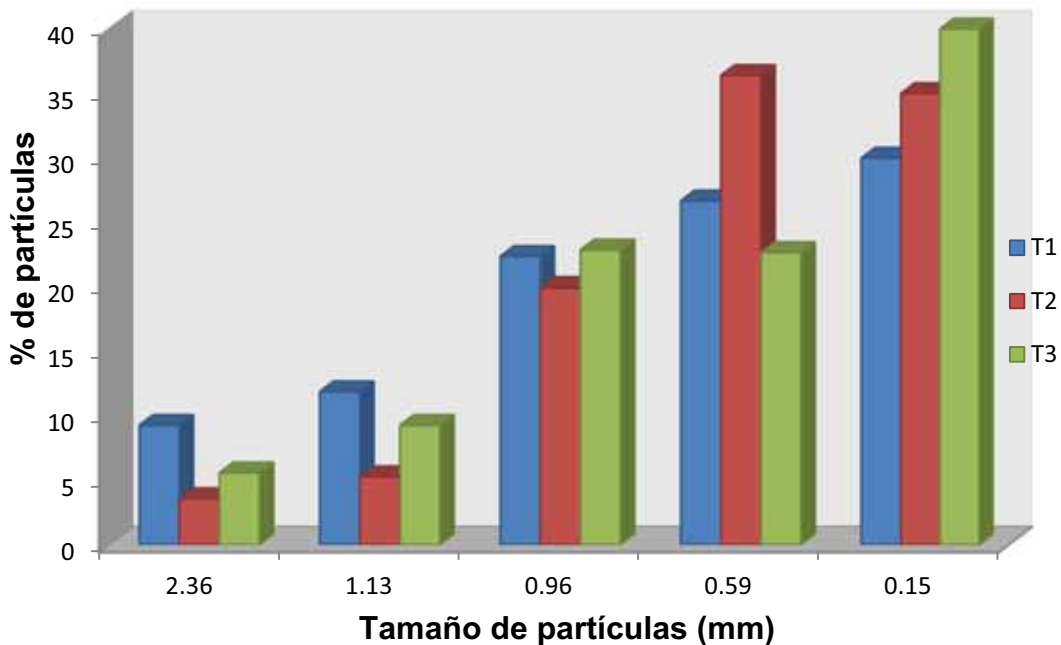


Figura 6.3: Distribución porcentual de partículas en los diferentes tratamientos T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

6.1.4. HUMEDAD.

En la figura 6.4, se observan los resultados de la humedad de cada tratamiento, con base a esto se puede apreciar como el suelo T2 (Convencional) presenta un porcentaje de humedad muy inferior respecto al T1 Y T3 (Forestal y orgánico). Se ha determinado que los suelos con poca retención de humedad presentan susceptibilidad a la aridez y a la posibilidad de degradación por causa de erosión eólica, lo cual es el caso del suelo con manejo convencional.

El porcentaje de humedad está fuertemente relacionado con el contenido de MO. Lo que hace apreciar que el suelo forestal y orgánico además de conservar más

humedad en sus horizontes puede tener una porosidad elevada y mayor contenido de MO.

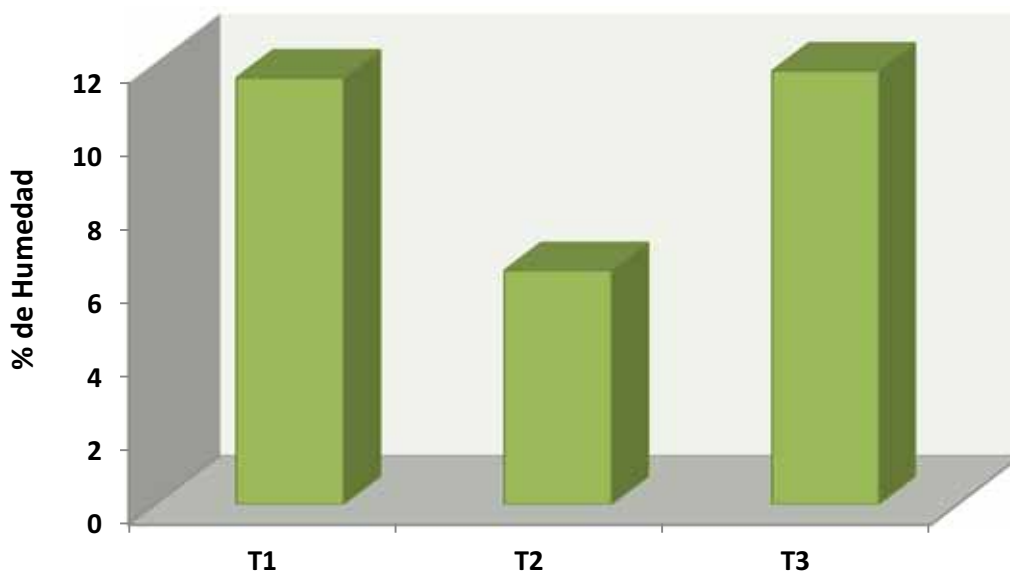


Figura 6.4: Composición porcentual de humedad en el suelo de los diferentes tratamientos. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

El contenido de agua (humedad) en el suelo puede ser benéfico, pero en algunos casos también perjudicial. Topp, (1993) menciona que el exceso de agua en los suelos favorece la lixiviación de sales y de algunos otros compuestos; por lo tanto, considera que el agua es un regulador importante de las actividades físicas, químicas y biológicas en el suelo. Se observa que los tratamientos 1 y 3 del suelo presentan un contenido de humedad aceptable, lo que indica que los poros de retención de humedad se encuentran en proporción adecuada. El caso del tratamiento 2 su contenido de poros de retención de humedad son bajos aunque no llegan a considerarse como un problema.

6.1.5. DENSIDAD APARENTE (DAP)

Los resultados para densidad aparente se pueden observar en la tabla 6.3 donde se observa que los suelos bajo sistemas de manejo agrícola (T2–Convencional y T3-orgánico) tienen una densidad aparente superior comparada con el suelo forestal, esto puede ser el resultado de la presión aplicada por la carga mecánica de las prácticas agrícolas, esta observación coincide con el trabajo de, Mendoza (2010), donde indica que la compactación del suelo es el incremento en la DAP, lo que resulta de la aplicación de una carga o presión. Sin embargo el incremento en la DAP no es significativo para los tratamientos, Ad-hoc-AG-Boden (2005) y la FAO (2009) han utilizado la clasificación para DAP de la figura 6.5, en donde se observa que los tres tratamientos pertenecen a la misma descripción:

- ✚ **MUY SUELTA (PD1)** “Muchos poros, materiales húmedos se sueltan rápidamente de la barrena; materiales con poros vesiculares, suelos minerales con propiedades ándicas”

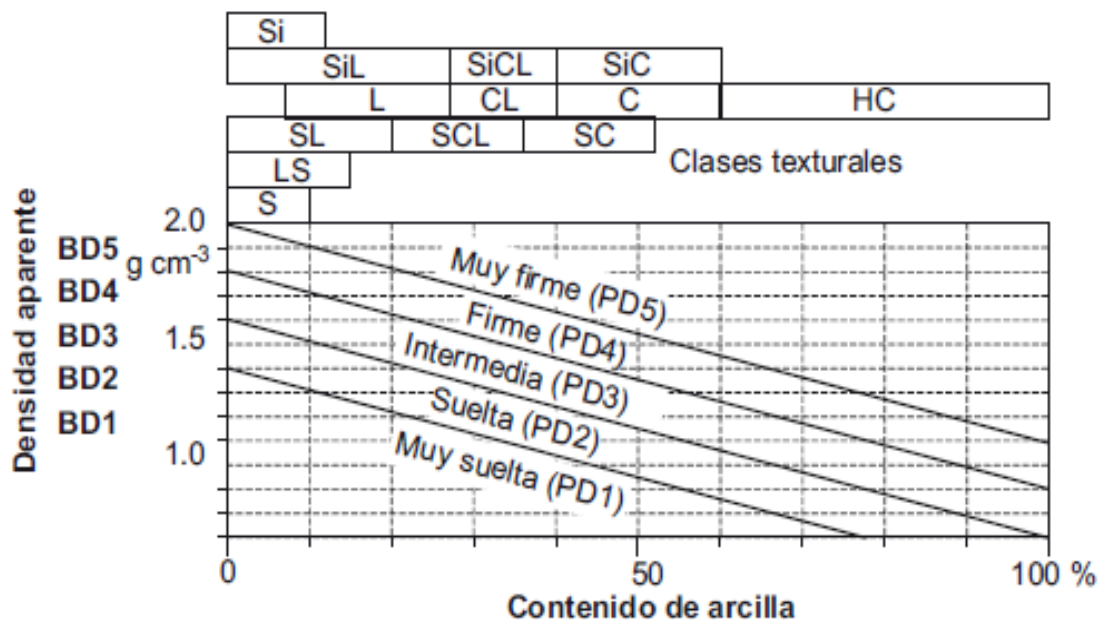


Figura 6.5: Clasificación de la densidad aparente Ad-hoc-AG-Boden (2005)

La FAO (2009) también señala que los suelos formados a partir de materiales volcánicos recientes como es el caso de los suelos estudiados, a menudo tienen propiedades ándicas: una densidad aparente de 0,9 kg dm⁻³ o menos, y una consistencia untuosa (debido al contenido alto de alófono y/o ferrihidrita), lo que coincide con los resultados obtenidos para el T1 (suelo forestal).

**Tabla 6.3: DAP de los diferentes tratamientos (suelos).
T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.**

Suelos	DAP
T1	0.879
T2	1.008
T3	1.007

La densidad aparente de los suelos estudiados no muestra diferencias estadísticamente significativas y de acuerdo a los valores encontrados se pudiera indicar que con las prácticas agrícolas realizada, el suelo con manejo orgánico y convencional queda suelto, reduciendo la DAP y favoreciendo la porosidad, sin embargo las aplicaciones de otros productos como fertilizantes, abonos, agroquímicos y el uso de maquinaria tiende a reducir las dimensiones de los poros y por consecuencia a compactar el suelo, favoreciendo con la pérdida de estructura y agregación de este.

Los efectos del manejo agrícola sobre la DAP no siempre son de manera similar. En resultados de experimentos realizados en algunas regiones del bajo se han encontrado ligeros incrementos en la DAP en suelos con cero labranza que en aquellos sobre los cuales se realizan actividades de manejo convencional, (Fregoso et al, 2002) otros autores como Figueroa y Morales (1992) mencionan haber encontrado diferencias en la DAP que la reportada en varios estudios realizados en México.

La densidad aparente ha resultado ser un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y la función del ecosistema. Los valores de densidad

aparente altos indican un ambiente pobre en espacio poroso tanto para la aireación, como para la retención de humedad por lo que esto afecta en el crecimiento de raíces, y puede traer consigo cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua.

6.1.6. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se observa en la figura 6.6 que la conductividad del suelo T3 (orgánico) presentó más de tres veces el valor que el T1 (forestal) y casi el doble que el T2 (convencional). Si se compara el suelo orgánico con el convencional, llama la atención, ya que ambos son manejados antropogénicamente; debería esperarse que el suelo con manejo convencional fuera el que presentara mayor conductividad, sin embargo los resultados indican lo contrario, por lo que aparentemente, si no hubo un buen manejo orgánico, probablemente los metales presentes no han sido fácilmente asimilados por el cultivo, lo que nos indica que hay que revisar con detenimiento las prácticas agrícolas de este suelo.

Al comparar el suelo T1 (forestal) con el T2 (convencional), los valores de conductividad del T2 indican una tendencia esperada, ya que se sabe que cuando se aplican fertilizantes químicos, por lo general se agregan más de lo necesario, y se presentan reacciones de diferente tipo, por ejemplo las arcillas y su formación de complejos con el fósforo, la difícil asimilación de algunos metales por la planta, ya que esta toma lo necesario para realizar sus funciones fisiológicas. Estas reacciones mencionadas provocan con facilidad que la conductividad se eleve.

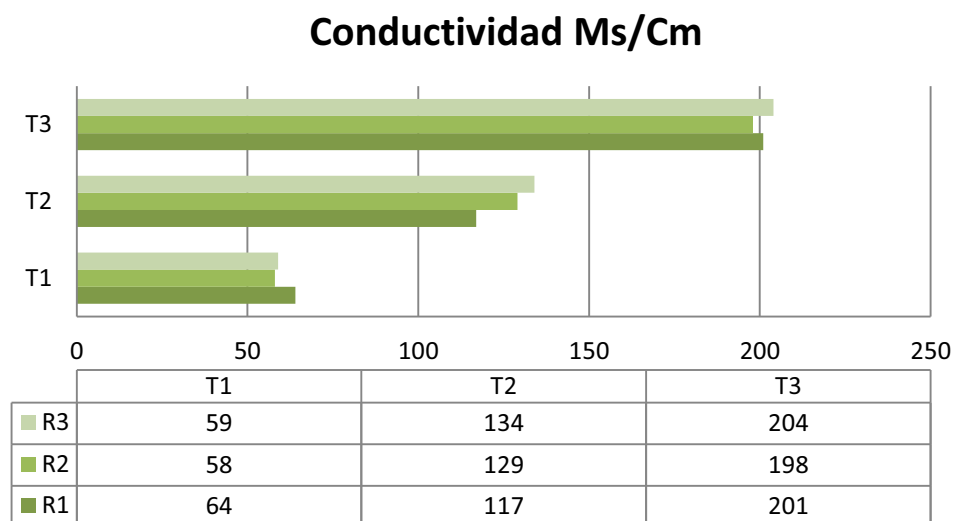


Figura 6.6: Valores de la conductividad eléctrica de los tres suelos con sus respectivas réplicas. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

Los valores obtenidos en cada réplica confirman el elevado valor de CE. respecto a T1 o suelo testigo (Forestal) el cual coincide con lo establecido por Jordán (2006) donde indica que la naturaleza litológica, geomorfológica, climática y antrópica del sustrato original condiciona las propiedades químicas y de esta manera la topografía y la influencia del material volcánico de reciente formación en el suelo andosol, se pone de manifiesto en propiedades como color, textura estructura y acidez, lo cual inhibe la presencia de sales.

6.2. INDICADORES QUÍMICOS

6.2.1. pH

En la comparación de los diferentes tratamientos el pH mostró una variabilidad mínima, es una de las propiedades químicas que menos varía, ya que es una característica intrínseca de la génesis de los suelos, (Campos, 2010).

En la figura 6.7 se observa que el pH de los tratamientos presenta una tendencia a la acidez, la cual es correspondiente a la parte alta en un suelo andosol de origen volcánico, cuya reacción es de acidez fuerte a neutra, donde la MO influyó en el pH con acidez moderada de 6 a 6.8, (Alcalá, 2001).

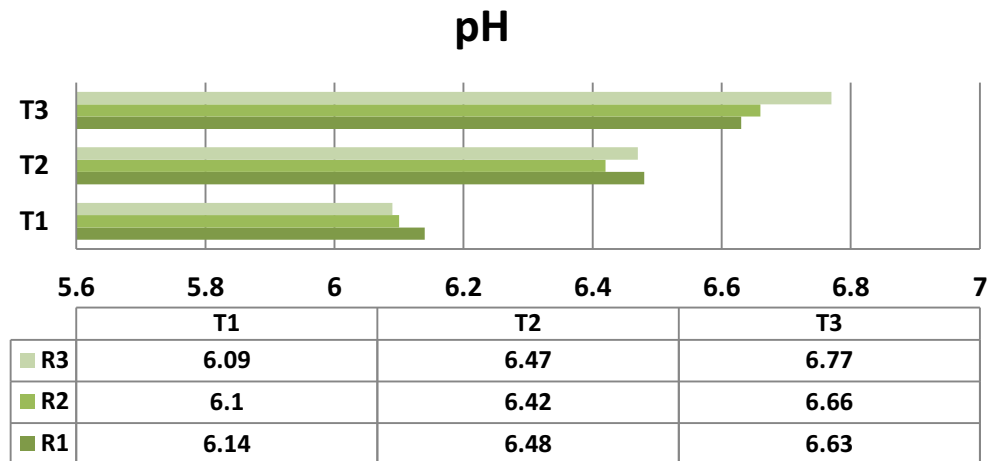


Figura 6.7. Valores del pH de los tres suelos con sus respectivas repeticiones T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

Estos valores de pH indican que en general los tres suelos presentan tendencia ácida. El más ácido se ubica en las zonas que aún presentan cubierta forestal, esto indica que presentan menos hidrólisis, es decir captan menos protones de la humedad, pueden estar conteniendo más fulvatos y humeatos que huminas. Por lo contrario los suelos manejados antropogénicamente, pueden presentar más huminas, debido a que por riego constante se pierde con más facilidad la fracción fúlvica y parte de la húmica, debido a una mayor solubilidad que las huminas que son insolubles, por lo tanto el efecto hidrolítico disminuye en estos suelos, (Barceló, 2000).

Con los resultados obtenidos, puede apreciarse que los suelos con manejo convencional se ven más afectados por los fertilizantes que se agregan constantemente y de forma desmedida, donde afectan más la pérdida de las fracciones húmicas en general, ya que pudiera haber algo de pérdida por arrastre también de las huminas, lo que se refleja en el pH.

6.2.2. POTENCIAL REDOX (PR)

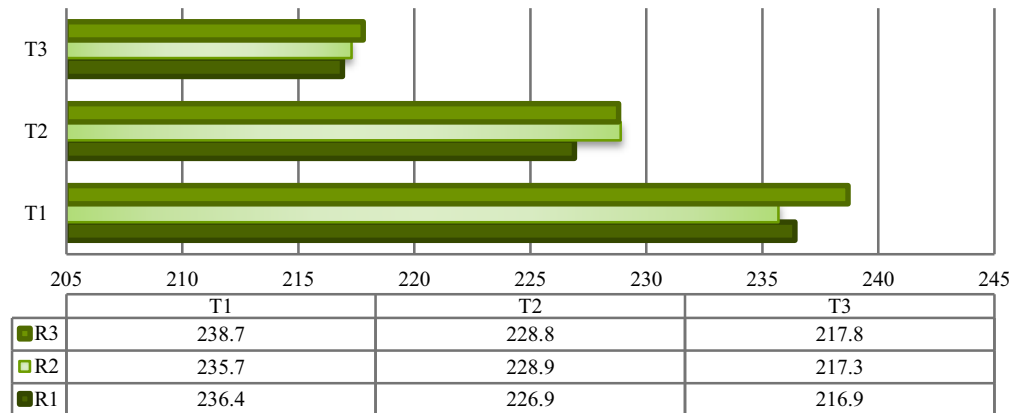


Figura 6.8: Potencial Redox (mV) en los tres suelos T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

En la figura 6.8 se representa la variación del potencial Redox en cada suelo, donde el suelo forestal (T1) presentó el mayor valor del potencial Redox lo que significa que hay mayor oxigenación en el mismo, donde no existe manejo agrícola, solo actividad biológica como las lombrices y microorganismos.

El suelo orgánico (T3) presentó el menor potencial Redox, esto indica que aparentemente existe menos oxigenación.

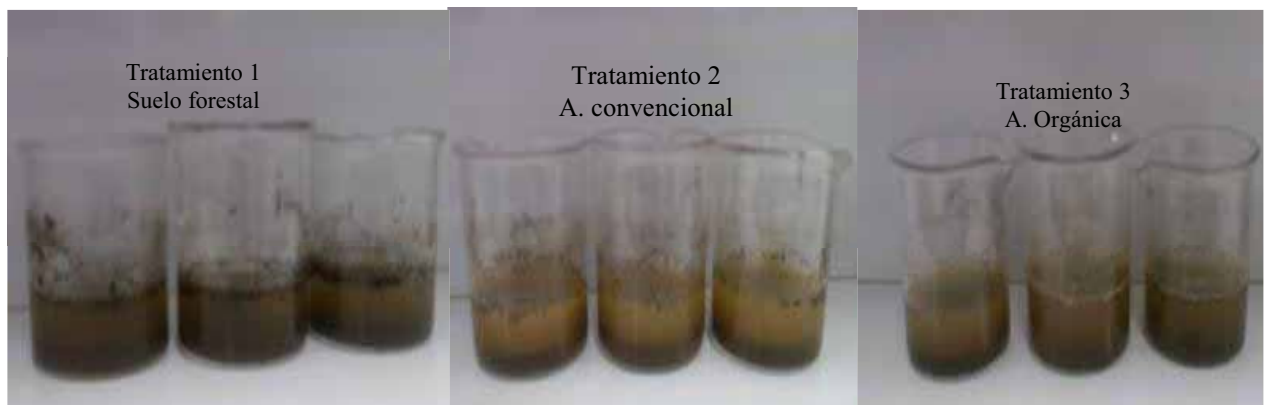


Figura 6.9: Análisis de Potencial Redox en los tres suelos

Tanto en el suelo con manejo convencional (T2) como en el suelo con manejo orgánico (T3) se puede apreciar una oxigenación escasa por el manejo del mismo, debido al uso de equipo y maquinaria agrícola, en donde se afecta de manera significativa el potencial Redox de estos suelos, como ya se mencionaba anteriormente, provocando alteraciones en la porosidad y de la misma forma incrementos en la DAP.

Fassbender y Bornemiza (1987), indican que en condiciones de campo los valores de Potencial Redox varían en el suelo, aproximadamente entre +800 mV (oxidación fuerte) y -350mV (reducción fuerte). Estos valores fluctúan apreciablemente durante el año, especialmente como consecuencia del mayor o menor contenido de agua en el suelo. Los cambios con saturación de agua son notablemente fuertes en horizontes con alta concentración de MO. El pH tiene una considerable influencia sobre el potencial Redox, el cual generalmente aumenta cuando baja el pH.

El T1 (forestal) es el que presentó el menor pH, y el mayor potencial Redox, siguiendo el T2 (manejo convencional) y luego el T3 (manejo orgánico), coincidiendo con las observaciones de Fassbender y Bornemiza (1987),.

En la tabla 6.4 se presentan los valores de oxígeno, nitrógeno y los metales importantes en suelos sobre todo el Mn, ya que los tres suelos sujetos a estudio se encuentran en una zona volcánica donde el Mn está presente.

Tabla 6:4: Utilización de los minerales por parte de la micro-flora del suelo.

Concentración de Oxígeno	Mineral Respirado	Potencial redox (mV)
Hipoxia (concentración de O ₂ menor a la normal)	Reducción de NO ₃ ⁻ a NO ₂ ⁻	+550 a+450
	Formación de Mn ²⁺	+450 a+350
Anoxia (ausencia total de	Ausencia de O ₂	+330

O₂	Ausencia de NO₃⁻ respirable	+220
	Formación del Fe²⁺	+150
	Reducción de SO₄²⁻ a SH₂	-50
	Ausencia de SO₄²⁻ respirable	-180

6.2.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO

Los valores de CIC de acuerdo a la clasificación de Cottenie (1980) (tabla 6.6), se encuentran en el intervalo de medio y alto presentándose valores similares para los tres tratamientos. Este comportamiento es debido al contenido de arcilla, ya que en combinación con los coloides orgánicos presentes, la CIC. se incrementó, (Soil Survey staff, 2006). El menor valor para la conductividad se obtuvo en el T2 (manejo del suelo convencional), y el mayor se obtuvo con el T1 (suelo forestal). En la tabla 6.5 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6.5. Valores obtenidos de la CIC en los suelos Cmol (+) Kg⁻¹.

Tratamiento	CIC Cmol (+) Kg⁻¹	Clasificación
T1 Forestal	29	ALTA
T2 Convencional	24	MEDIA
T3 Orgánico	25	ALTA

Tabla 6.6. Clasificación para valores de CIC en los suelos

Clase	CIC (Cmol(+) Kg⁻¹)
Muy alta	> 40
Alta	25 - 40
Media	15 - 25
Baja	5 - 15
Muy baja	> 5

NOM-021-RECNAT-2000 Cottenie (1980)

Algunos estudios han relacionado los valores de la CIC con el pH, sin embargo en suelos andosoles no muestran relación directa con el pH por las propiedades anfotéricas de los andosoles (cargas positivas y negativas) que dependen del pH, (Egawa, 1977)

6.2.4. MATERIA ORGÁNICA (MO)

El contenido de MO en los suelos fue muy variable, se puede observar que este contenido está altamente influenciado por los diferentes sistemas manejo en el suelo. Honorato (2000), menciona que la vegetación y el hombre son factores importantes que influyen en el contenido de materia orgánica en los suelos.

De esta manera la clasificación de la MO es diferente estadísticamente para cada sistema de manejo, como se puede ver en la figura 6.10, donde se observa que el mayor porcentaje de materia orgánica fue en el suelo forestal (T1), lo que significa que presenta mayor cobertura de residuos que se mantienen sobre la superficie del suelo.

El menor valor lo presentó el suelo con tratamiento convencional (T2), esto indica que es un suelo en proceso de marginación por agroquímicos utilizados y prácticas agrícolas, donde el suelo queda y con poca cobertura. En el suelo con manejo orgánico (T3) se encontró un contenido de M.O superior al del suelo con manejo convencional, pero inferior al suelo con vegetación forestal, esto se atribuye a que la

conservación y acumulación de M.O es una característica fundamental en los suelos agrícolas con manejo orgánico. Estos resultados coinciden con la literatura donde se tiene que los suelos forestales son los más ricos en M.O. y los suelos agrícolas se han empobrecido por su manejo. Con respecto al suelo con manejo orgánico se podría pensar que está en etapa de recuperación al ir aumentando su contenido de M.O. sin embargo este es un proceso lento y paulatino que los mejores resultados se tendrán dentro de varios años.

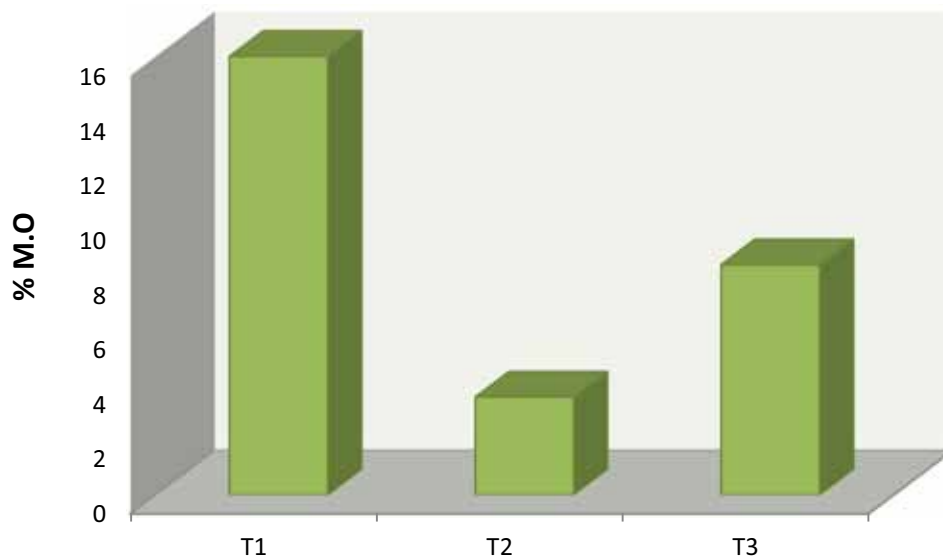


Figura 6.10: Porcentaje (%) de MO en los diferentes tratamientos T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

La materia orgánica es de gran importancia, pues está íntimamente relacionada con el pH, el Potencial Redox y la estructura, ya que indica el grado de aireación de los suelos, y por ende nos proporciona características que son indispensables para la producción vegetal, la materia orgánica es reconocida como un importante indicador en la calidad de los suelos para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, (Studdert y Echeverria 2000). Potter *et al* (1999) reporta que una porción importante de M.O del suelo forma parte de las reservas de carbono orgánico, esto mismo coincide con Ding *et al* (2002).

Se conoce que las bajas concentraciones de M.O asocian a un suelo a problemas de degradación y baja fertilidad, por lo contrario una buena cantidad de M.O. son propias de una buena producción en los cultivos.

Como se indicó en un principio, es importante mencionar que las diferencias en el contenido de M.O es atribuida al manejo del suelo, aunque se ha mencionado que el contenido inicial de M.O del suelo influye en diferente manera, (Campos, 2010).

6.2.5. NITRÓGENO ORGANICO

En la figura 6.11, se observan los resultados del % del nitrógeno total en los suelos utilizados como tratamiento. Se observaron los siguientes puntos respecto a este nutriente:

- ✚ T1 (Forestal): se determinó que su contenido en % de nitrógeno orgánico (NO) fue de 0.115, considerando la tabla 6.7, resulta un suelo medio en nitrógeno.

- ✚ T2 (Convencional): su valor en % de nitrógeno orgánico fue de 0.0588, considerado más pobre que el anterior, debido a la extracción de este nutriente por las plantas de aguacate durante la producción y a la aplicación inadecuada de fertilizantes nitrogenados, pues difícilmente se sigue un plan de fertilización adecuado.

- ✚ T3 (Orgánico): tuvo un valor en % de NO de 0.03, considerándolo un suelo extremadamente pobre, lo cual indica que el aporte de nitrógeno que no proviene de la síntesis química no se ha dosificado correctamente, provocando empobrecimiento del suelo.

Se ha determinado que el nitrógeno orgánico, es necesario para evaluar la calidad de cada suelo, determinar la relación **carbono orgánico/nitrógeno orgánico**, que representan junto con el fósforo el valor agronómico o forestal de un suelo.

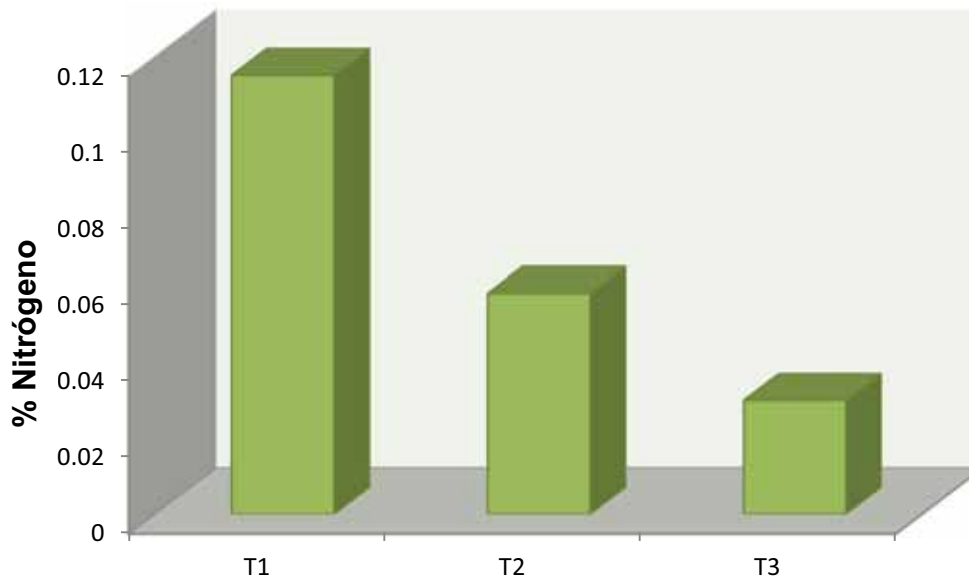


Figura 6:11: Porcentaje (%) de Nitrógeno orgánico en los diferentes tratamientos. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

Si se compara el % de MO con el de nitrógeno, siempre el T1 presentó el porcentaje mayor, sin embargo el suelo resultante del orgánico T3 fue el de menor porcentaje, lo cual puede ser atribuido muy probablemente a un manejo orgánico inadecuado que no ha fomentado la acumulación de nitrógeno en el suelo.

Para la clasificación de este indicador, se relacionaron los valores obtenidos en este trabajo con la tabla 6.7, donde Moreno, (1997), los clasifica como suelos pobres, medianamente pobres, medianamente ricos y extremadamente ricos.

El suelo forestal (T1) es un suelo medianamente rico en nitrógeno, sin embargo el suelo con manejo agrícola convencional (T2) a pesar de la aplicación de fertilizantes, se observa que baja casi la mitad, obteniéndose un grado medianamente pobre, lo que junto con otros indicadores afirman un ligero proceso de degradación. En cuanto al suelo con manejo agrícola orgánico (T3), a pesar de su bajo contenido de nitrógeno no necesariamente está en proceso de degradación, ya que como se observó anteriormente la capa orgánica tiene un buen porcentaje de M.O, lo que significa que es esta altamente influenciada por el manejo, según la tabla 6.7, se considera un suelo pobre en N.

Tabla 6.7: Relación de la calidad de un suelo en función de su contenido en nitrógeno

Categoría	Valor (%) de nitrógeno en suelo
Extremadamente pobre	< 0.032
Pobre	0.032 - 0.063
Medianamente pobre	0.064 - 0.095
Medio	0.096 - 0.126
Medianamente rico	0.127 - 0.158
Rico	0.159 - 0.221
Extremadamente rico	> 0.221

Moreno (1997)

6.2.6. CARBONO ORGANICO

Si bien en el inciso 6.2 se indicó los resultados de la MO, no necesariamente corresponde al carbono orgánico total, ya que puede contener también detritus que están en proceso de degradación, en el capítulo 5 se indicó que este se midió mediante la técnica TC, donde el COT provino de la diferencia entra el TC-CIT.

Es necesario el valor del COT para determinar la relación C/N. En la figura 6.12. Se observó que:

- ✚ T1 (Forestal) presentó un % de CO de 15.5, lo cual se justifica por la cantidad de materia orgánica resultante de la actividad.
- ✚ T2 (Convencional) y T3 (Orgánico), presentaron un % de CO menor que el T1 observándose que por su explotación agrícola la presencia de material húmico es escaso.

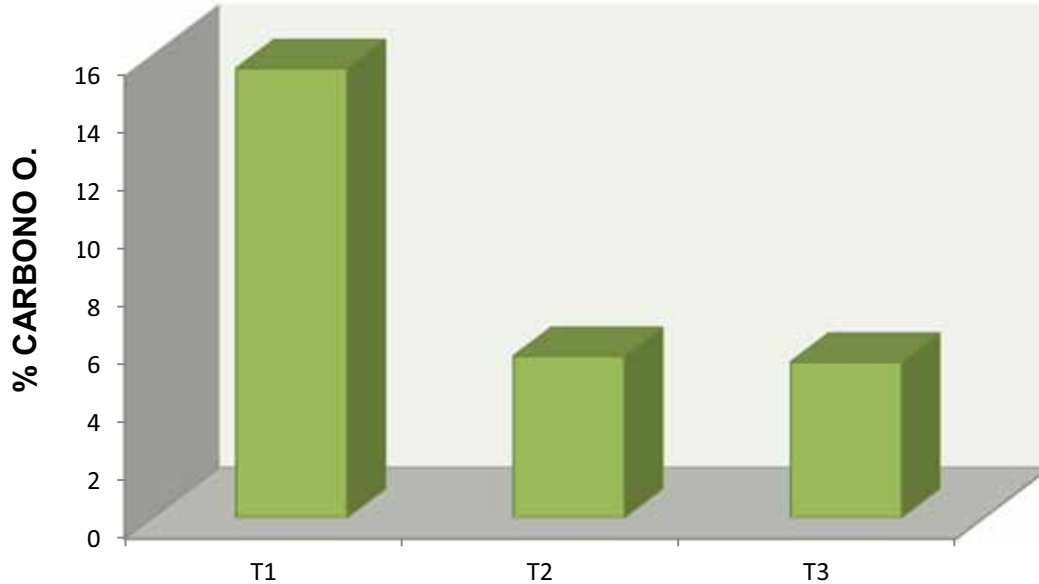


Figura 6.12: Porcentaje (%) de carbono orgánico en los diferentes tratamientos. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

El carbono orgánico del suelo se encuentra gravemente influenciado por el manejo del suelo, los sistemas de producción de cultivos y la temperatura, y en la gráfica de la figura 6.12, puede observarse esta evidencia, pues con la realización de actividades agrícolas en los tratamientos 2 y 3 es notoria la disminución del carbono orgánico.

6.2.7. OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO C/N

En la tabla 6.8, se presentan los valores de nitrógeno orgánico determinado en cada suelo (tratamiento), a su vez la cantidad de carbono medido como carbono orgánico (CO) en el analizador de carbono indicado en la metodología (TOC), también se observa la relación carbono nitrógeno de los tratamientos:

Tabla 6.8: Resultados en contenido de nitrógeno y carbono en los tres suelos de la región aguacatera de Michoacán. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

Suelos	%C	%N	C/N
T1	15.5	0.115	134.78
T2	5.6	0.0588	96.55
T3	5.4	0.03	180

Así según los valores de la tabla 6.8, se tiene:

- ✚ En T1 (Forestal), se obtuvo una relación de 134.78 que es considerado un valor aceptable.
- ✚ En T2 (Convencional), el valor obtenido fue de 96.55, que indica que aún el suelo puede ser explotado un poco más pero pudiera estar en riesgo de ser empobrecido de seguirse usando cada vez más fertilizantes, sin las dosificaciones adecuadas.
- ✚ En T3(Orgánico), el valor que se determinó fue el más alto lo cual demuestra que la calidad es buena, pero es recomendable conocer cuánto tiempo soportaría la explotación aguacatera y cada cuando se necesita aportar los nutrientes necesarios

6.2.8. METALES

6.2.8.1. DETERMINACIÓN DE COBRE (CU II)

En la gráfica de la figura 6.13, se presentan los valores en mg/kg de cada suelo, donde:

- ✚ El T1 (forestal) presentó la menor cantidad de Cu, con respecto a los otros dos suelos, sin embargo este valor se encuentra en el límite establecido a

nivel mundial de la concentración de Cu para suelos agrícolas, la cual es de 20 mg/kg (Pendías, 1995).

- ✚ El T2 (manejo convencional) presentó un poco menor que el T3 (manejo orgánico), pero ambos fueron mayores que el T1, esto se debe a que el manejo convencional (T2) existe un uso indiscriminado de fertilizantes ricos en Cu y del CuSO₄ utilizado como fungicida para control de enfermedades producidas por hongos.
- ✚ El T3 muestra mayor concentración de Cu que el T2, esto se atribuye a que la unión Europea considera algunas formulaciones de cobre (Cu) como uno de los pocos productos de síntesis química autorizados en la producción orgánica, sin embargo esta autorización no cuenta con límites establecidos e igual que en la agricultura convencional se hace un uso desmedido de estos (CEE 2092/91).

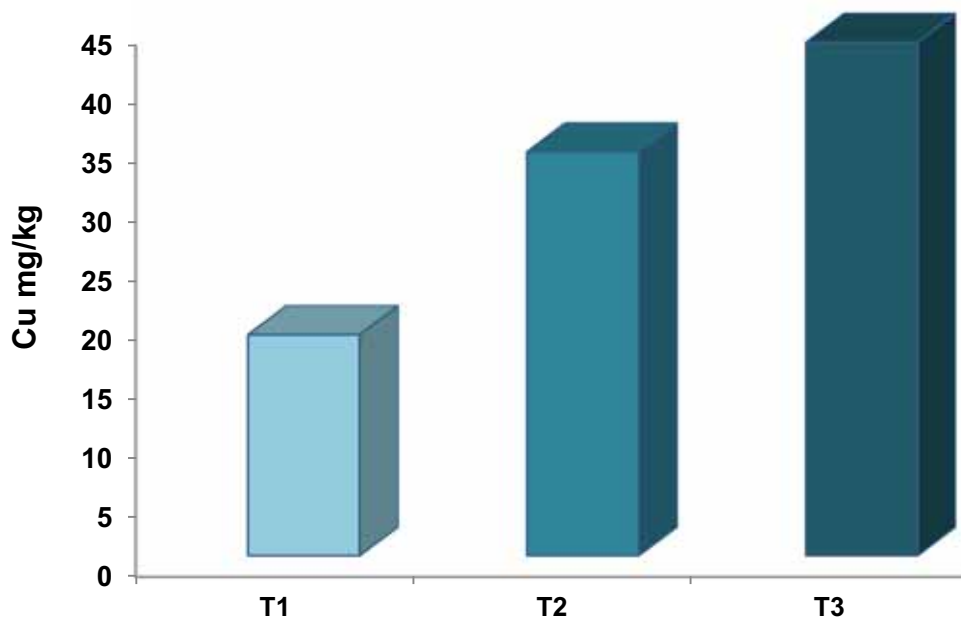


Figura 6.13. Resultado de la cantidad de cobre (II) en cada suelo (tratamientos) T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

6.2.8.2. DETERMINACIÓN DE POTASIO (K)

En la gráfica de la figura 6.14 se observa lo siguiente:

- ✚ El suelo del T3 (manejo orgánico) presentó la concentración más alta, debido al manejo de este suelo, es lógica la riqueza en potasio, nutriente importante en el crecimiento vegetal, pues este proviene del el material orgánico formado que probablemente provenga de material composteado.
- ✚ El suelo del T2 (manejo convencional) es casi semejante al T1 (forestal), donde posiblemente hay pérdida de K por arrastre en la época de lluvias y por el riego,

Trejo (2010) y Noyola, (2011) mencionan que existe una mayor concentración de potasio en material de compostaje y que este se presenta en una forma más asimilable por las plantas, lo que coincide de alguna manera con los resultados obtenidos en el suelo con manejo orgánico.

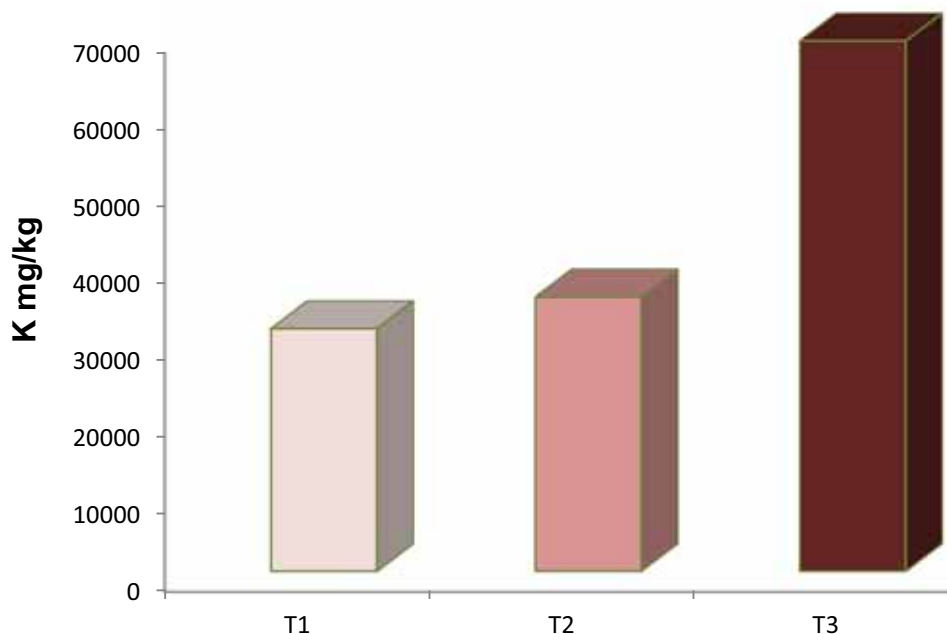


Figura 6.14. Resultado de la cantidad de potasio (K) en cada suelo (tratamiento).T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

6.2.8.3. DETERMINACIÓN DE HIERRO (Fe)

Existió un concepto de que el hierro formaba parte de la molécula de la clorofila, al estimar que en las plantas existía, una relación hierro-pigmento. Este error fue aclarado por R. Willstater y A. Stoll, en 1913, que concluyeron que este oligoelemento no era un componente de la clorofila, sin embargo es esencial para su síntesis. El hierro puede ser absorbido por la planta mediante su sistema radicular como Fe^{2+} , o como quelatos de hierro. La forma Fe^{3+} es de menor importancia, debido a la pequeña solubilidad de los compuestos férricos en la mayor parte de los suelos.

Comparado con su presencia abundante en los suelos, el contenido en las plantas es escaso, aunque en la mayoría de las veces más elevado que el de otros oligoelementos. En los tejidos normales varía de 25-250 ppm (b.s.), dependiendo de la parte de la planta y de la especie. En las regiones meristemáticas, donde la multiplicación y crecimiento celular son rápidos, el elemento es requerido por las enzimas mitocondriales, y es en las hojas, concretamente en los cloroplastos, en donde se encuentra la mayor parte del hierro. Algunas especies de hortalizas, como espinaca, lechuga, col contienen entre 100 y 800 ppm. En las hojas de árboles frutales como el aguacate oscila entre 20 y 420 ppm. En general, se admite que contenidos inferiores a 50 ppm en peso seco pueden originar estados de deficiencia, (Navarro, 2009).

La deficiencia de hierro se puede inducir mediante la presencia de altos niveles de manganeso o cal en los suelos. El pasto y algunos árboles y plantas de ornato son especialmente susceptibles a la deficiencia de este elemento. En este caso se observa en general cantidades elevadas de este elemento, donde casi son semejantes en hierro los tres suelos (tratamientos) figura 6.15:

- ✚ El suelo del T3 (manejo orgánico) presentó un ligeramente mayor su concentración que los otros dos tratamientos T1 (forestal) y T2 (manejo convencional), pero como es una forma de Fe^{3+} , se observa por lo descrito anteriormente según Navarro, (2009), la asimilación es escasa.

Para la asimilación con facilidad del Fe, se requeriría un estado de oxidación +2 y en los resultados obtenidos se pudo determinar que en los tres suelos aunque poco oxigenados, existe la abundancia mayor de Fe^{3+} . Probablemente a profundidades mayores de 50 cm puede estar presente el Fe^{2+} siempre y cuando persista la humedad para que este Fe^{2+} sea asimilable por las raíces de las plantas.

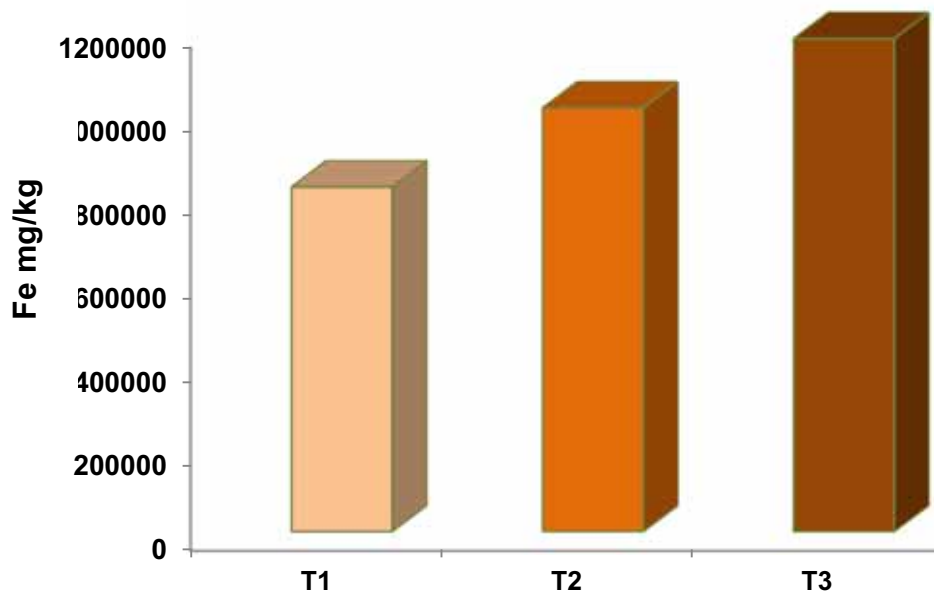


Figura 6.15. Resultado de la cantidad de hierro (Fe) en cada suelo (tratamiento) T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

6.2.8.4. DETERMINACIÓN DE MANGANESO (Mn) EN LOS TRES SUELOS

En la figura 6.16 se pueden observar los resultados obtenidos para la concentración de Mn en los suelos (tratamientos):

- ✚ El T3 (manejo orgánico) muestra la mayor concentración de Mn, mientras que el T1 (forestal) y T2 (manejo convencional) muestran resultados muy similares.

La concentración de Mn en los suelos es dinámica, pues se conoce que las propiedades generales de los suelos, como pH, textura o M.O, tienen una gran influencia sobre los niveles de Mn. Debido a la gran complejidad del Mn se cree que solo una consideración general de las propiedades de los suelos pueden explicar la disponibilidad de este elemento, (Fasbender y Bornemiza ,2000).

Algunos estudios han demostrado que el Mn tiene un efecto residual, (Salcedo y Ellis, 2003), otros indican que algunas condiciones ambientales afectan la presencia de Mn (Fasbender y Bornemiza ,2000). Sin embargo, también se ha mencionado que una acidificación en el suelo hace posible la presencia de concentraciones altas de Mn, lo cual coincide con lo obtenido.

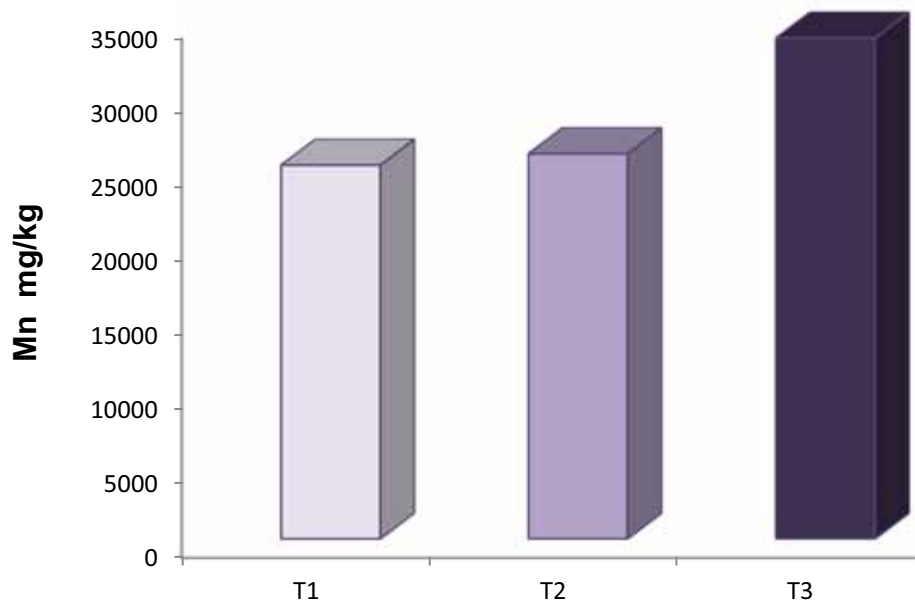


Figura 6.16. Resultado de la cantidad de manganeso (Mn) en cada suelo, T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

Existe una estrecha reacción entre el Fe y Mn presentes: si en los suelos existen elevados niveles de Mn con valencias altas, como es el caso, estos oxidan al Fe

reduciendo su disponibilidad, esto explica los resultados obtenidos en el análisis de los suelos de estudio.

6.2.9. EXTRACCIÓN DE ÁCIDOS HÚMICOS Y FÚLVICOS

En la figura 6.17 se observa el porcentaje de carbono orgánico obtenido en AH, en donde se puede apreciar que el suelo forestal (T1), obtuvo el mayor contenido de CO, presentando diferencias significativas respecto a los otros dos tratamientos (suelos con manejo agrícola).

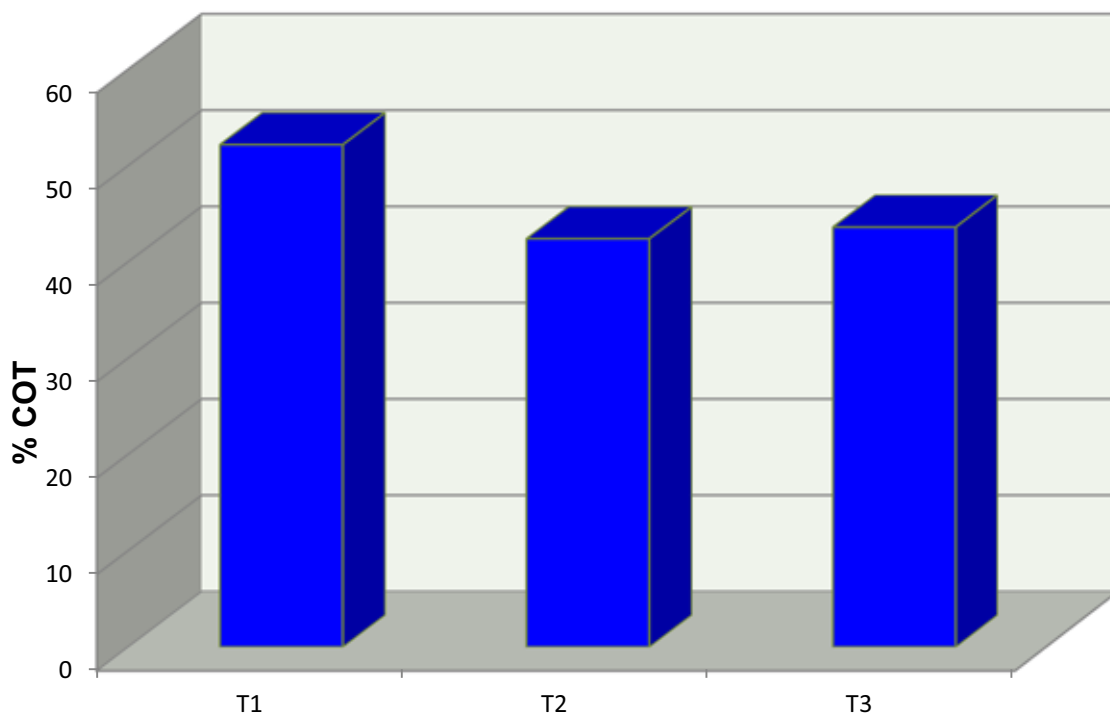


Figura 6.17: Concentración de COT en los AH de los diferentes suelos (tratamientos). T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

En cuanto al contenido de N en los AH, este se puede observar en la figura 6.18, aunque se aprecian diferencias entre los tratamientos, solo el T2 (manejo

convencional) presento diferencias estadísticas significativas ($P = 0.05$) con respecto a los otros dos (T1 y T2).

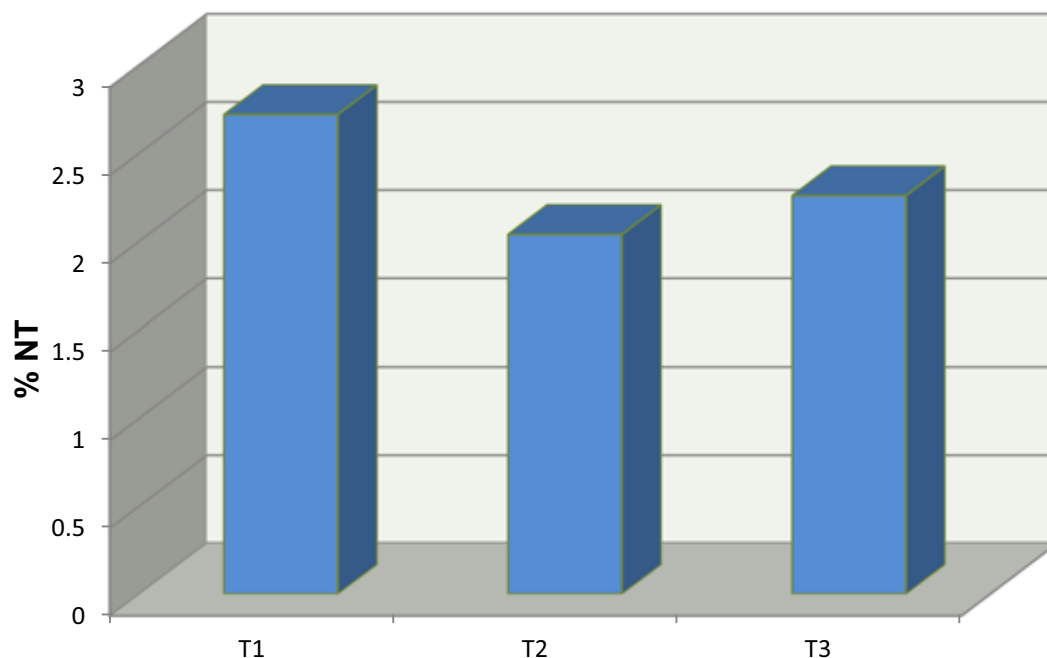


Figura 6.18: Concentración de NT en los AH de los diferentes suelos (tratamientos)- T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

El análisis del contenido de CO en los AF, se observa en la figura 6.19, donde se muestran las diferencias entre los tratamientos, las cuales son corroboradas por el análisis de varianza, que indico diferencias estadísticas significativas ($P = 0.05$).

El mayor contenido de nitrógeno total fue encontrado en los AF del suelo forestal (T1), y en forma descendente en los AF del suelo con manejo orgánico (T3) y el suelo con manejo convencional (T2).

En cuanto al contenido de NT en los AF (figura 6.20), se observa la misma tendencia, el T1 (Suelo forestal), presenta el mayor porcentaje de NT. Sin embargo se aprecia que en el T2 (suelo con manejo convencional) el porcentaje de N no fue detectable, el análisis de varianza indica diferencias significativas ($P = 0.05$) entre los tratamientos.

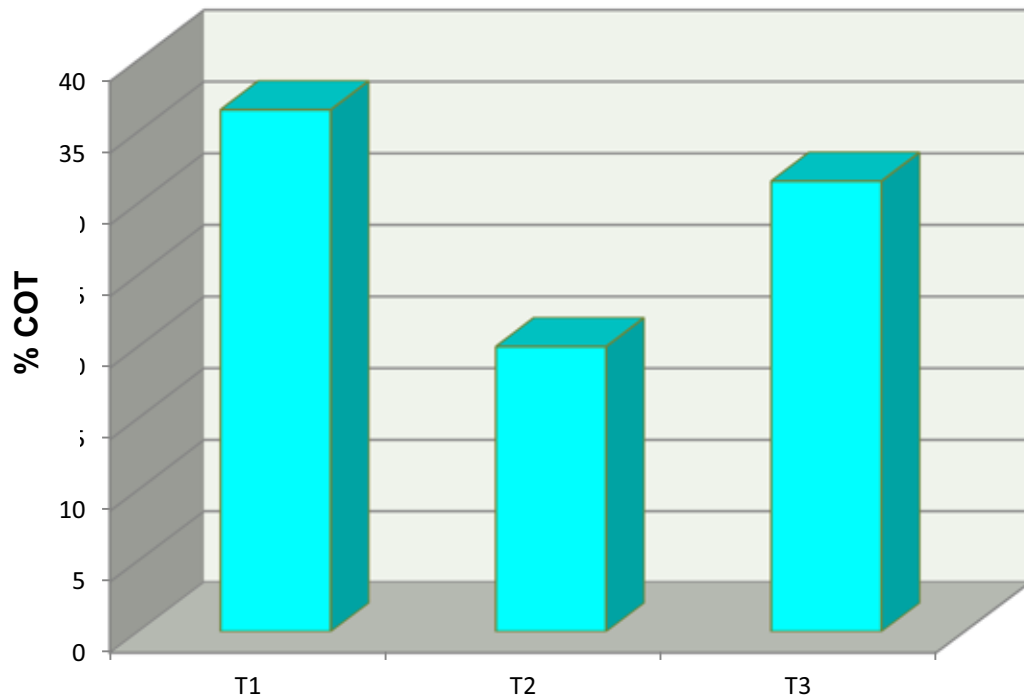


Figura 6.19: Concentración de COT en los AF de los diferentes suelos (tratamientos). T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

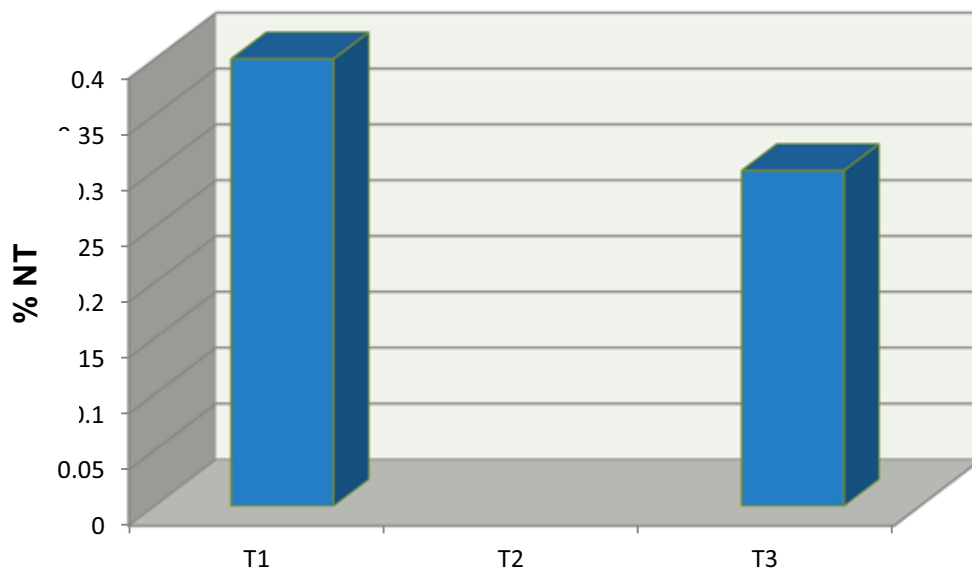


Figura 6.20: Concentración de NT en los AF de los diferentes suelos (tratamientos). T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

6.2.10. FOSFORO

Los resultados de fósforo para los suelos manejados bajos los diferentes tratamientos se muestran en la figura 6.22. Se observa que el contenido de fosforo en el T1 (forestal) tiene un comportamiento similar al del T3 (suelo con manejo orgánico) y es afectado de manera significativa por los sistemas de manejo agrícola. En el año 2002 Salinas *et al* reporto resultados similares para la región centro occidente de México.

El suelo tiene un nivel de fósforo asimilable menor a 5.5 mg/kg, por lo tanto según el método Olsen (tabla 6.9) se trata de un nivel bajo.

Tabla 6.9: Clasificación de fosforo asimilable Olsen

Clase	mg Kg ⁻¹ de P
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 - 11
Alto	> 11

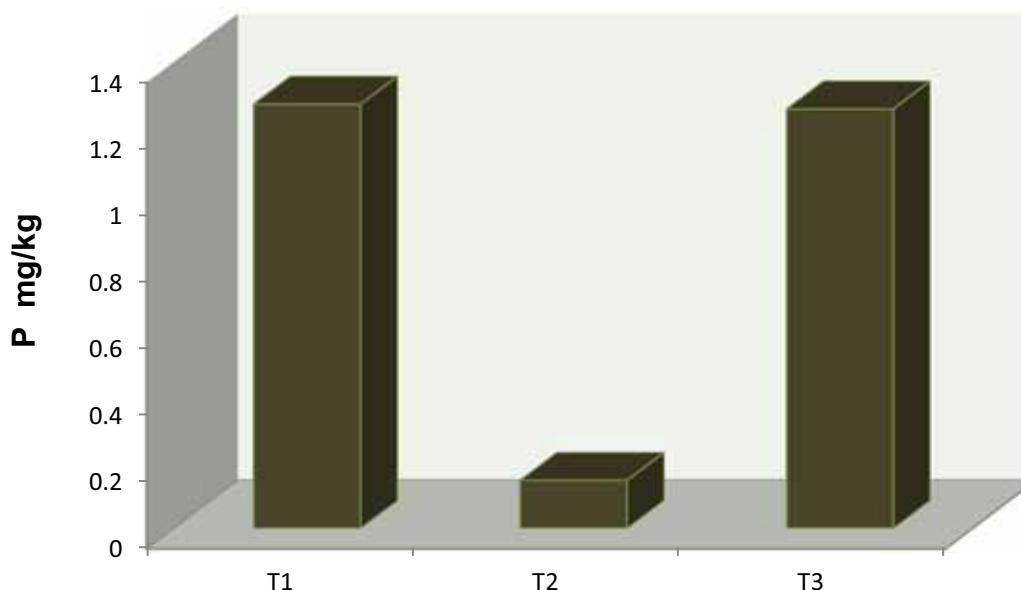


Figura 6.21. Resultado de la cantidad de fosforo (P) en cada suelo (tratamiento). T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

El contenido de fósforo asimilables está influenciado por las condiciones climáticas, y el cultivo, cada cambio genera un nivel diferente en el aprovechamiento de este elemento

6.3. INDICADORES BIOLÓGICOS

6.3.1. RESPIRACIÓN (CO₂)

Los resultados de la respiración en el suelo de los diferentes tratamientos se pueden observar en la figura 6.23, donde se indica que la mayor actividad biológica se realiza en los primeros días de incubación. Esta se vincula a la degradación inmediata de las fracciones orgánicas lábiles que se encuentran en el suelo, con la consecuente producción de energía (Rivero y Hernández, 2001). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Stott *et al.* (1986), quienes indicaron que las diferencias significativas en la descomposición de residuos, sólo son detectables en los primeros días de incubación.

Las intensidades iniciales de emisión de CO₂ reflejan la presencia de carbono de disponibilidad inmediata en los sustratos orgánicos provenientes de compuestos fácilmente degradables (Santibáñez *et al.*, 2006). Se observó la mayor emisión de C-CO₂ en el manejo del suelo orgánico, seguido por el forestal y al último el suelo con manejo convencional, aunque estadísticamente, no se encontraron diferencias significativas (P = 0.05) entre los diferentes tratamientos.

El suelo manejado en forma orgánica presentó mayor intensidad de CO₂ lo que significa mayor presencia de microorganismos y/o mayor actividad de esos microorganismos. Eso significa que:

- ✚ Este tipo de suelo tiene mayor presencia de vida que los suelos anteriores, aunque no exista diferencia estadísticamente significativa.

- ✚ Se observa que a medida que transcurre el tiempo de la incubación los tratamientos (suelos) entran a una fase de estabilidad, lo que significa que el número de microorganismos va disminuyendo al igual que el desprendimiento de CO₂.

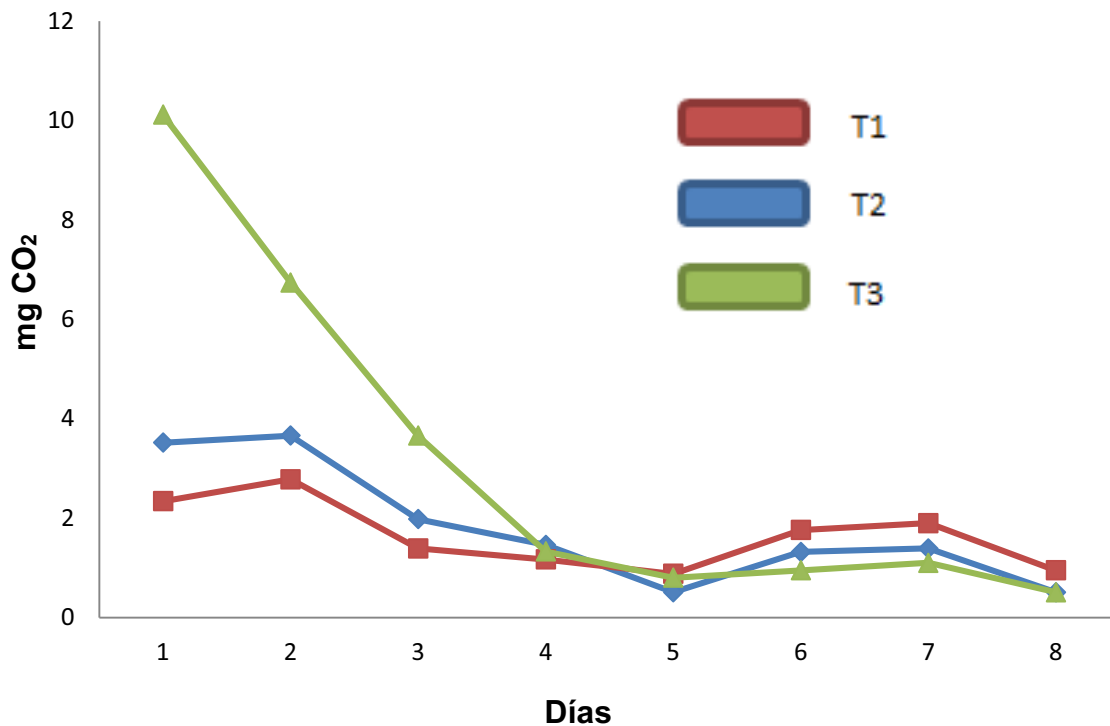


Figura 6.22. Resultado de la respiración (CO₂) de Microorganismos diaria. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

La cantidad de C-CO₂ acumulado desprendido por la actividad biológica de los diferentes suelos incubadas durante un período semanal muestra como el suelo con manejo orgánico tiene incremento de la respiración respecto a los suelos forestales y suelos con manejo convencional (Figura 6.24).

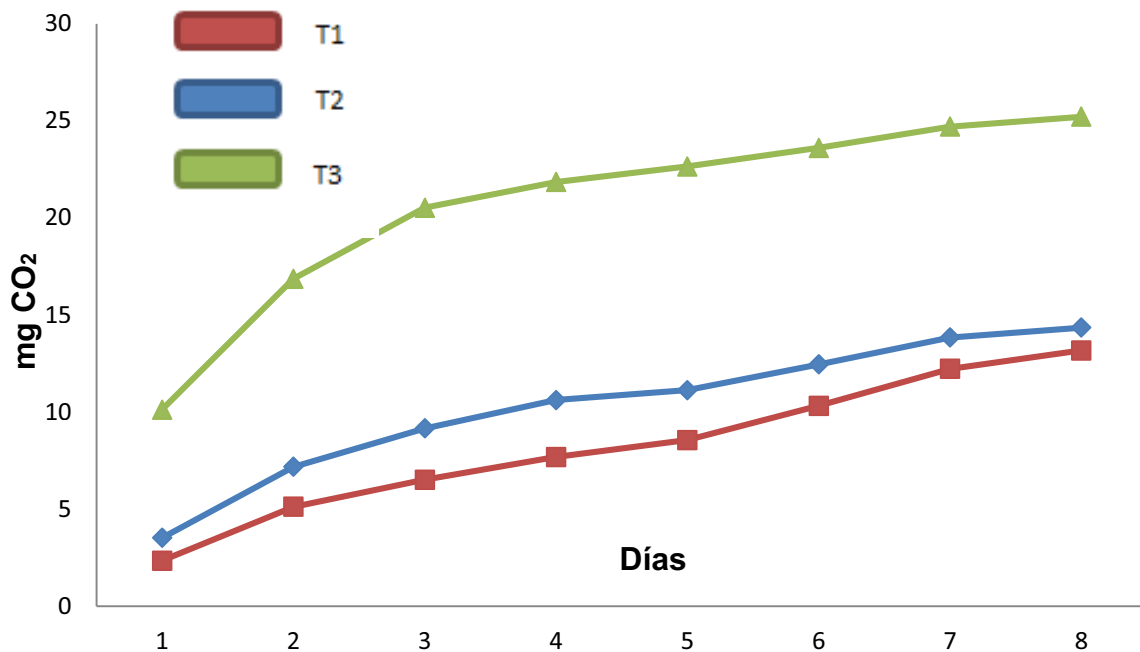


Figura 6.23. Resultado de la respiración (CO₂) acumulativa de los microorganismo en el suelo. T1 suelo forestal, T2 suelo con manejo convencional y T3 suelo con manejo orgánico.

6.4. PRÁCTICAS AGRÍCOLAS QUE DEGRADAN EL SUELO

6.4.1. SISTEMAS DE MANEJO DE SUELO

6.4.1.1. CONVENCIONAL

Se utiliza para la producción principalmente de mono-cultivos, consiste en la manipulación mecánica del suelo. Con este sistema se modifican las condiciones del suelo y se incorporan los residuos de cultivo dejando el suelo descubierto, (SSSA, 2011). Se utilizan aquellas prácticas de preparación de suelo (arados y rastras), que modifican la estructura y otras propiedades físicas y químicas del suelo y según Thierfelder *et al.* (2005) el deterioro del suelo está en función del tipo y número de labores que se aplican para acondicionar la cama de siembra. Los diversos estudios al respecto coinciden y señalan que el movimiento contante del suelo favorece una alta susceptibilidad del suelo a la erosión, cuyo resultado es una

degradación física y química significativa de los suelos agrícolas, (Kraus *et al.*, 2001). Esta degradación del suelo los productores la perciben a través de la reducción de la materia orgánica, el empobrecimiento del suelo y el aumento de la compactación.

6.4.2. MALAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS

En la región de estudio se identificó el manejo inapropiado en algunos huertos con cultivo de aguacate, este manejo inapropiado Incluye una amplia variedad de prácticas tales como deforestación, los problemas de labranza, uso excesivo de agroquímicos, uso de abonos, uso de agua de riego de mala calidad y la quema de residuos con plagas y enfermedades. Este tipo de prácticas favorecen la degradación del suelo y se le asocia comúnmente con la erosión (hídrica y/o eólica), compactación, pérdida de nutrientes, salinización y polución por plaguicidas y fertilizantes.

Algunas de las actividades de causan daño a la calidad del suelo se describen a continuación, (SEMARNAT y CP, 2003).

- ✚ La deforestación para cambiar el uso de la tierra a agrícola.

- ✚ El balance negativo de nutrientes y materia orgánica entre las salidas, representadas por los productos de las cosechas, de las quemas, las lixiviaciones etc, y las entradas entendidas como la fertilización o el estercolamiento, la conservación de los residuos de cosechas y los depósitos de sedimentos fértiles.

Estas actividades ocasionan la declinación de fertilidad y la reducción del contenido de materia orgánica pues propician el decrecimiento neto de nutrientes y MO. disponibles en el suelo, provocando una disminución en la fertilidad y biología del suelo.

✚ La aplicación de agroquímicos.

Esta actividad genera la degradación del suelo como una consecuencia de la localización, concentración y efecto biológico adverso del agroquímico.

✚ La salinización y acidificación.

Ocasionada por riego inapropiado, y por el drenado de suelos, lo que provoca una disminución en la producción, aumento en el contenido de sales y ácidos del suelo, afectando y disminuyendo la biología del suelo.

✚ Uso de Maquinaria

El uso frecuente de maquinaria pesada con efectos acumulativos son factores que influyen en la compactación debido al apisonamiento sobre el terreno (por las llantas de la maquinaria usada), la frecuencia en el paso de esta.

✚ Eutroficación

La aplicación desbalanceada de fertilizantes químicos orgánicos e inorgánicos, los encalados inadecuados generan un exceso de nutrientes del suelo que perjudican el desarrollo de las plantas.

6.4.3. TIPOS DE DEGRADACIÓN EN SUELO

El estudio realizado indica que el suelo de las huertas con manejo agrícola tanto orgánico como convencional, están siendo afectados con algún tipo de degradación. Aunque en diferentes niveles. Encontrando desde una ligera degradación hasta una moderada degradación, lo que se puede determinar al observar una marcada reducción en la producción de aguacate.

Una de las formas de degradación encontrada es la compactación causada por la mecanización excesiva ligada íntimamente al grado de compactación existente en el suelo observado mayormente en el suelo con manejo orgánico, coincidiendo con

Carrillo en 2002 el cual indica que una de las principales causas de la compactación en el suelo es la destrucción de la estructura del suelo por uso excesivo de labores superficiales. Ramírez *et al* (2011) sugiere que esta compactación provoca cambios en las condiciones físicas y disminución en la tasa de infiltración de suelo lo que afecta al crecimiento de las plantas y aumenta la susceptibilidad de la erosión.

Se considera que esta zona es vulnerable a los pequeños cambios que ocasionan las actividades agrícolas y tienden a degradar los suelos en un lapso no muy largo en tiempo.

El principal factor considerado como responsable de la degradación en esta zona de la franja aguacatera, es la combinación entre la sustitución de los bosques a huertos de aguacate y las actividades agrícolas mencionadas anteriormente.

CAPÍTULO

7

CAPITULO 7

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y COROLARIO

7.1. CONCLUSIONES

- ✚ Los suelos del área de estudio en una zona aguacatera del estado de Michoacán se encuentran con principios de degradación pues los suelos con manejo agrícola presentan características químicas, físicas y biológicas menos aceptables que el suelo Forestal, sin embargo estas características aun tienden a amortiguar las pérdidas de suelo y nutrientes.
- ✚ Las prácticas de manejo orgánico utilizadas en la región no han mejorado la calidad del suelo ya que las variables estudiadas indican que existe poca variabilidad entre este y el manejo convencional.
- ✚ El suelo forestal, el de agricultura tradicional y el suelo orgánico presentan deficiencias de nitrógeno que van de medio a deficiente de este nutriente.

Esto se puede explicar a que las plantas con mucho follaje como es el caso del aguacate requieren cantidades elevadas de nitrógeno que hacen que disminuya este del suelo y en el caso de la agricultura tradicional utilizan un uso inmoderado de material nitrogenado a través de agroquímicos, lo que genera una pobreza en el suelo de este elemento.

- ✚ En cuanto a la relación C/N el suelo forestal y el orgánico resultaron de mejor calidad al contener un material húmico mayor.
- ✚ Se determina que la pérdida en la calidad del suelo, está relacionado con la pérdida de la vegetación original (bosques, áreas Forestales) lo cual tiene como efecto directo más importante la pérdida de materia orgánica.
- ✚ Las prácticas agrícolas como cambio de uso del suelo, aplicación de fertilizantes y plaguicidas y uso de maquinaria agrícola afectan directamente al suelo en factores como salinización, disminución en la protección del suelo, baja asimilación de nutrientes, pérdida de estructura y sustitución de la vegetación climática.
- ✚ A medida que va aumentando la actividad antropogénica, mayores serán las pérdidas en la calidad de los suelos hasta un punto que conlleve a problemas graves a la degradación de estos.

7.2. RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda realizar otras investigaciones en la zona como: comparación de diferentes manejos del suelo que contribuyan a recuperar su estructura; determinación de la infestación y daños causados por plagas; dosis y fuentes de nutrientes, considerando el balanceo nutricional del aguacate; determinación de niveles críticos y curvas de respuesta de nutrientes para los diferentes tipos de suelo existentes en cada huerto, fuentes y dosis de abonos orgánicos que contribuyan a mejorar la vida microbiana del suelo y las propiedades de este utilizando desechos de la propia huerta.

- ✚ Se recomienda realizar un monitoreo periódico en las huertas para detectar cambios en las propiedades del suelo y verificar si el índice obtenido continua siendo aceptable para la producción de aguacate.

- ✚ Se recomienda que para lograr el éxito y obtener mejores calidades de producción se debe de trabajar con equipos multidisciplinarios, coordinados, buena logística y laboratorios próximos con experiencia y que cuenten con una buena base de datos sobre análisis de suelos.

- ✚ Conocer la fenología y fisiología de la planta de aguacate, de las plagas y de las enfermedades para proporcionar dosis de fertilizante e plaguicidas adecuados, evitando el abuso de estos.

- ✚ Tomar algún curso o capacitación para el conocimiento fundamental del manejo agrícola dirigido hacia la producción de aguacate.

7.3. COROLARIO

Partiendo de la hipótesis propuesta: “El suelo de los municipios que abarcan una zona aguacatera del estado de Michoacán se encuentra degradado y contaminado a causa de las malas prácticas agrícolas que se realizan y el uso excesivo de agroquímicos, se hace necesario una medición del avance de esta degradación que está afectando la producción de aguacate” y el objetivo general “Determinar la magnitud de la degradación de un suelo causado por las actividades agrícolas que utilizan en exceso agroquímicos en una zona aguacatera del estado de Michoacán”, considerando los resultados discutidos en el capítulo 6, se observa principalmente en el suelo orgánico algunas pérdidas en cuanto a su calidad, principalmente en la deficiencia de nitrógeno, por lo que se proponen las recomendaciones ya citadas, en cuanto al suelo convencional su degradación no resultó grave, por lo que puede corregirse, se acepta tanto la hipótesis nula y el objetivo general resultante de dicha hipótesis. Este trabajo será de gran utilidad para los agricultores de la zona aguacatera para mejorar el suelo convencional y el suelo orgánico. De ser posible sería ideal transformar el suelo convencional a orgánico y así preservar y llegar a una sustentabilidad de la región, donde también será necesario convencer a los agricultores del aguacate, no invadir y conservar el suelo forestal y tener árboles micorrízicos para evitar la degradación.

APENDICE A

TABLAS DE RESULTADOS

Tabla A-1. pH en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo. (T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	6.09	6.1	6.14	6.11	0.02	0.004
T2	6.47	6.42	6.48	6.45	0.03	0.004
T3	6.77	6.66	6.63	6.68	0.07	0.011

Tabla A-2. Porcentaje de humedad en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo. (T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	9.46	13,12	12.74	11.77	2.01	0.170
T2	5,5	6.64	6.94	6.36	0.75	0.119
T3	11.36	12.24	11.14	11.58	0.58	0.050

Tabla A-3. DAP en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo. (T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	DAP promedio	SD	Error (%)
T1	1.04	1.00	0.97	1.00	0.033	0.033
T2	1.01	1.00	1.01	1.00	0.005	0.005
T3	0.86	0.87	0.89	0.87	0.017	0.019

Tabla A-4. Conductividad eléctrica en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo. (T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	64	58	59	60.33	3.21	0.053
T2	117	129	134	126.66	8.73	0.068
T3	201	198	204	201	3	0.014

Tabla A-5. Potencial REDOX en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo. (T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	236.4	235.7	238.7	236.9	1.56	0.006
T2	226.9	228.9	228.8	228.2	1.12	0.004
T3	216.9	217.3	217.8	217.3	0.45	0.002

Tabla A-6. Concentración de Cu (Mg/kg) en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	21.67	21.32	13.44	18.81	4.65	0.24
T2	27.64	38.53	36.42	34.19	5.77	0.16
T3	38.123	38.123	38.123	38.12	38.12	38.12

Tabla A-7. Concentración de K (Mg/kg) en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo.

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	27509	27879	39069	31485.66	16631.60	0.52
T2	31529	38229	37039	35599	18037.20	0.50
T3	62899	77419	44259	61525.66	33623.78	0.54

Tabla A-8. Concentración de Fe (Mg/kg) en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	836381.4	821201.4	807321.4	821634.7	410988.7	0.50
T2	1012392.1	1259652.1	758621.4	1010221.87	544956.91	0.53
T3	1087361.4	1060841.4	1378632.1	1175611.63	605178.94	0.51

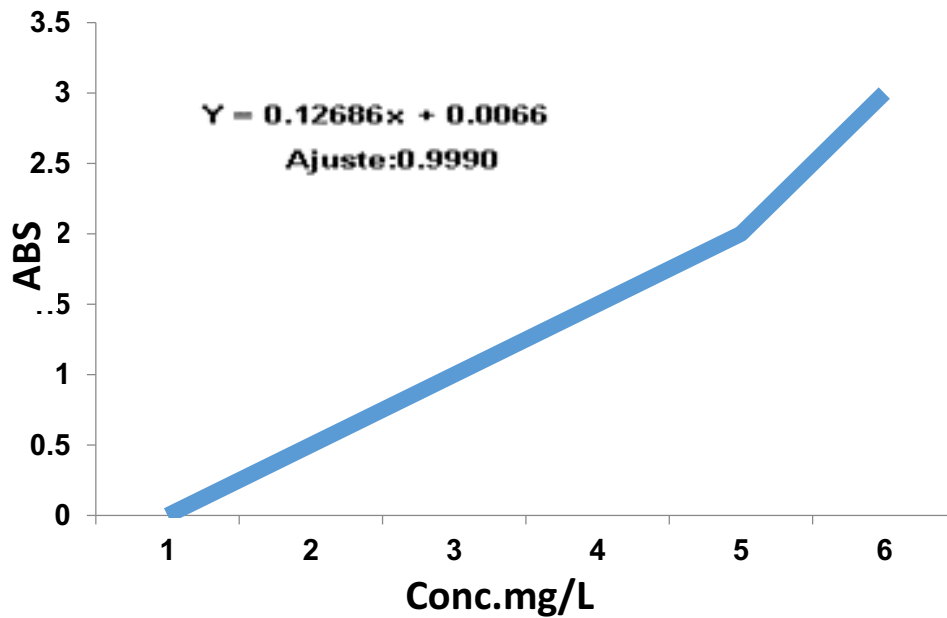
Tabla A-9. Concentración de Mn (Mg/kg) en suelos del estado de Michoacán bajo diferente manejo

Repetición						
Tratamiento	1	2	3	Ph promedio	SD	Error (%)
T1	27179.1	25373.1	23849.1	25467.1	12806.08	0.50
T2	24081.1	23331.1	26917.1	24776.43	12484.10	0.50
T3	37559.1	34045.1	31219.1	34274.43	17332.33	0.50

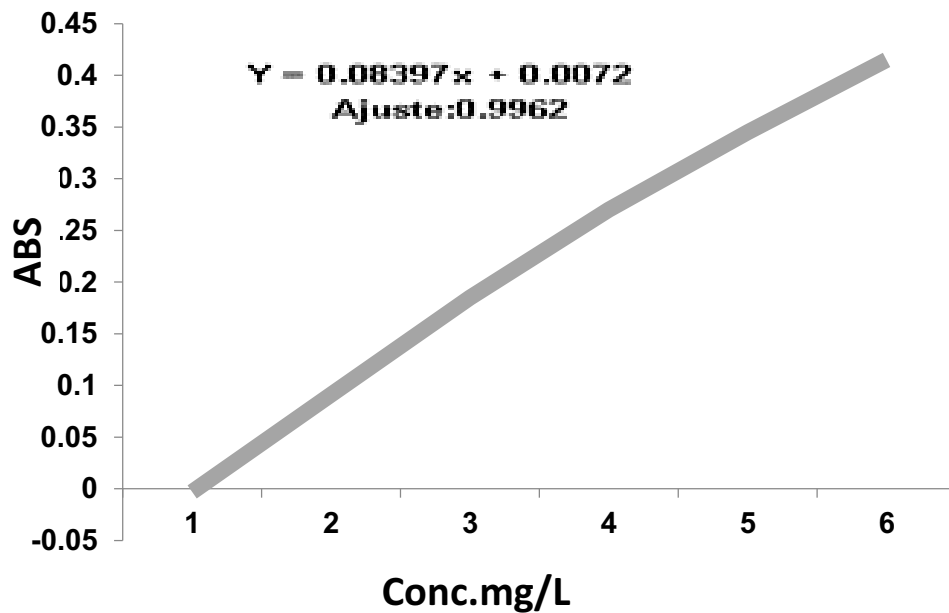
APÉNDICE B

GRAFICAS

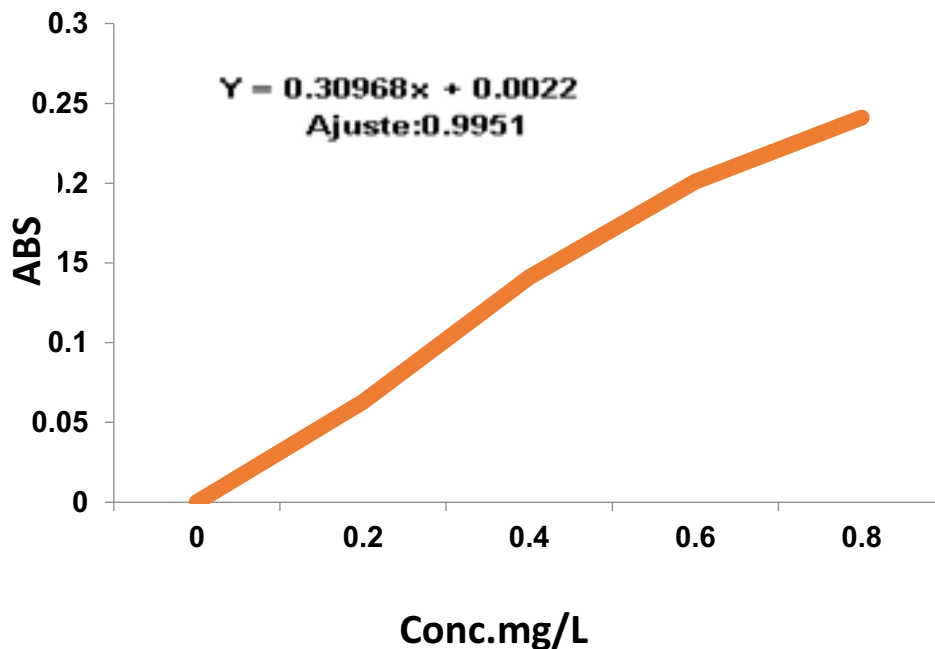
CURVAS DE CALIBRACIÓN DE METALES



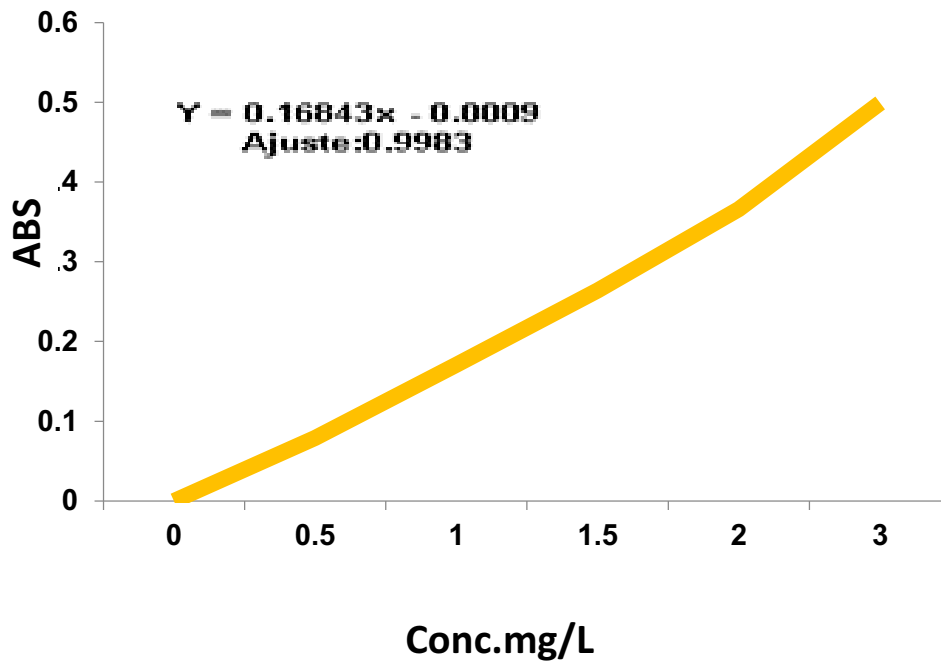
Grafica B-1: Curva de calibración para la determinación de cobre (Cu) los diferentes suelos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.



Gráfica B-2: Curva de calibración para la determinación de hierro (Fe) los diferentes suelos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.



Gráfica B-3: Curva de calibración para la determinación de potasio (K) los diferentes suelos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.



Gráfica B-4: Curva de calibración para la determinación de manganeso (Mn) los diferentes suelos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

APÉNDICE C

RESULTADOS ESTADÍSTICOS

1-C: Programa y salida SAS “CARACTERIZACIÓN BIOLÓGICA” para el análisis estadístico de datos de respiración CO₂ en los diferentes tratamientos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Tabla 1.C: ANAVA de la evaluación del efecto de la respiración CO₂ de los diferentes tratamientos.

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	F-VALOR	Pr > F
Modelo	9	74.4519292	8.2724366	3.19	0.0256
Error	14	36.3206333	2.5943310		
Total correcto	23	110.7725625			
R-Cuadrado	Coef-var		Raíz MSE	CO₂ Media	
0.672115	73.33831		1.610693	2.196250	
Fuente	G.L.	TIPO III SS	C.M.	F-VALOR	Pr > F
TRAT	2	10.97410000	5.48705000	2.12	0.1575
DIA	7	63.47782917	9.06826131	3.50	0.0221

G.L.= Grados libertad; S.C.= Suma de cuadrados; C. M.= Cuadrado medio; F-valor= Valor calculado con distribución de probabilidad tipo F; Valor Pr > F= Magnitud del efecto esperado, si es menor que α (definida en ANAVA) existe diferencia significativa; *Diferencia significativa.

DATA RESPIRACION;

INPUT TRAT DIA CO2;

CARDS;

1 1 2.34	2 1 10.1	3 1 3.52
1 2 2.78	2 2 6.74	3 2 3.66
1 3 1.39	2 3 3.66	3 3 1.98
1 4 1.17	2 4 1.33	3 4 1.46
1 5 0.88	2 5 0.80	3 5 0.51
1 6 1.76	2 6 0.95	3 6 1.32
1 7 1.90	2 7 1.10	3 7 1.39
1 8 0.95	2 8 0.51	3 8 0.51

PROC GLM;

CLASS TRAT DIA;

MODEL CO2 = TRAT DIA/SS3;

MEANS TRAT/DUNCAN tukey DUNNETT;

RUN;

Tukey para C02

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	2.594331
Valor crítico del rango estudentizado	3.70139
Diferencia significativa mínima	2.1078

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	TRAT
A	3.1488	8	2
A	1.7938	8	3
A	1.6463	8	1

Tests t de Dunnett para C02

Alfa	0.05
------	------

Error de grados de libertad	14
Error de cuadrado medio	2.594331
Valor crítico de t de Dunnett	2.45703
Diferencia significativa mínima	1.9788

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

TRAT Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza	
2 - 1	1.5025	-0.4763	3.4813
3 - 1	0.1475	-1.8313	2.1263

2-C: Programa y salida SAS “CARACTERIZACIÓN QUÍMICA” para el análisis estadístico de datos de nitrógeno total en los diferentes tratamientos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Tabla 2.C: ANAVA de la evaluación del efecto del NT de los diferentes tratamientos.

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	F-VALOR	Pr > F
Modelo	7	0.09180189	0.01311456	52.24	<.0001
Error	10	0.00251056	0.00025106		
Total correcto	17	0.09431244			
R-Cuadrado		Coef-var		Raíz MSE	NT Media
0.97338		6.202810		0.015845	0.255444
Fuente	G.L.	TIPO III SS	C.M.	F-VALOR	Pr > F
TRAT	2	0.09038878	0.04519439	180.02	<.0001
DIA	5	0.00141311	0.00028262	1.13	0.4067

G.L.= Grados libertad; S.C.= Suma de cuadrados; C. M.= Cuadrado medio; F-valor= Valor calculado con distribución de probabilidad tipo F; Valor $Pr > F$ = Magnitud del efecto esperado, si es menor que α (definida en ANAVA) existe diferencia significativa; *Diferencia significativa.

```
DATA NITROGENO TOTAL;
```

```
INPUT TRAT REP NT;
```

```
CARDS;
```

```
1 1 0.331  
1 2 0.336  
1 3 0.354  
1 4 0.363  
1 5 0.345  
1 6 0.350  
2 1 0.244  
2 2 0.238  
2 3 0.225  
2 4 0.251  
2 5 0.268  
2 6 0.251  
3 1 0.204  
3 2 0.153  
3 3 0.163  
3 4 0.163  
3 5 0.196  
3 6 0.163
```

```
PROC GLM;
```

```
CLASS TRAT REP;
```

```
MODEL NT = TRAT REP/SS3;
```

```
MEANS TRAT/DUNCAN tukey DUNNETT;
```

```
RUN;
```

Tukey para NT

	Alfa	
0.05	Error de grados de libertad	10
	Error de cuadrado medio	
0.000251	Valor crítico del rango estudentizado	3.87676
	Diferencia significativa mínima	0.0251

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey	Agrupamiento	Media	N	TRAT
0.346500	6	1		A
0.246167	6	2		B
0.173667	6	3		C

Tests t de Dunnett para NT (Nitrógeno Total)

	Alfa	0.05	
	Error de grados de libertad		10
	Error de cuadrado medio		
0.000251	Valor crítico de t de Dunnett		
2.56836	Diferencia significativa mínima		
0.0235			

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por ***.

TRAT Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza		
2 - 1	-0.100333	-0.123829	-0.076838	***
3 - 1	-0.172833	-0.196329	-0.149338	***

3-C: Programa y salida SAS “CARACTERIZACIÓN FÍSICA” para el análisis estadístico de datos de densidad aparente (DAP) en los diferentes

tratamientos. T1) suelo forestal; (T2) suelo con manejo convencional; (T3) suelo con manejo orgánico.

Tabla 3.C: ANAVA de la evaluación del efecto de la densidad aparente (DAP) de los diferentes tratamientos.

Fuente	G.L.	S.C.	C.M.	F-VALOR	Pr > F
Modelo	4	0.03974578	0.00993644	23.76	0.0048
Error	4	0.00167311	0.00041828		
Total correcto	8	0.04141889			

R-Cuadrado	Coef-var	Raíz MSE	DAP Media
0.959605	2.127937	0.020452	0.961111

Fuente	G.L.	TIPO III SS	C.M.	F-VALOR	Pr > F
TRAT	2	0.03901622	0.01950811	46.64	0.0017
DIA	2	0.00072956	0.00036478	0.87	0.4849

G.L.= Grados libertad; S.C.= Suma de cuadrados; C. M.= Cuadrado medio; F-valor= Valor calculado con distribución de probabilidad tipo F; Valor Pr > F= Magnitud del efecto esperado, si es menor que α (definida en ANAVA) existe diferencia significativa; *Diferencia significativa.

DATA DAP;

INPUT TRAT REP DAP;

CARDS;

1 1 0.864	2 1 1.011	3 1 1.040
1 2 0.876	2 2 1.002	3 2 1.008
1 3 0.864	2 3 1.012	3 3 0.973

PROC GLM;

CLASS TRAT REP;

MODEL DAP = TRAT REP/SS3;

MEANS TRAT/DUNCAN tukey DUNNETT;

RUN;

Tukey para DAP

Alfa

0.05

Error de grados de libertad

4

Error de cuadrado medio
0.000418
 Valor crítico del rango estudentizado
5.04024
 Diferencia significativa mínima
0.0595

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

	Tukey Agrupamiento	Media	N	TRAT
3	2	A	1.00833	
3	3	A	1.00700	
3	1	B	0.86800	

Tests t de Dunnett para DAP

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	4
Error de cuadrado medio	0.000418
Valor crítico de t de Dunnett	3.31035
Diferencia significativa mínima	0.0553

Las comparaciones importantes del nivel 0.05 están indicadas por *.**

TRAT Comparación	Diferencia entre medias	Simultáneo 95% Límites de confianza		
2 - 1	0.14033	0.08505	0.19561	***
3 - 1	0.13900	0.08372	0.19428	***

REFERENCIAS

- Abellán, M. A., Morote, F. A. G., y Abellán, M. A. (2006). La evaluación del impacto ambiental de proyectos y actividades agroforestales (Vol. 48). Univ de Castilla La Mancha.
- Acosta, Y., Paolini, J., Flores, S., Zauahre, M., Reyes, N., y García, H. (2008). Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias*, 8, 39-47.
- Ad-hoc, A. G. Boden (2005) *Bodenkundliche Kartieranleitung*. Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, 5.
- Albert, L. A., Benítez, J. A., Botello, A., Rendón, V. J., Gold, B. G., Y Agraz, H.C. (2005). Impacto ambiental de los plaguicidas en los ecosistemas costeros. Golfo de México. *Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias*, 157-176.
- Albuzio, A.; Conchero, G.; Nardo, S. y Dellángola, G. (1994). Effect of humic fractions of different molecular size on the elopment of oat seeding growing varied nutritional conditions. In: N. SENSEI, T. M. MIANO (Eds.) *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science. B. V. Amsterdam

- Alcalá de Jesús, M., Ortiz C.A., Gutiérrez, M. del C, (2001), clasificación de los suelos de la meseta tarasca, Michoacán, Terra volumen 19 núm. 3.
- Almendros, G; Polo, A. y Dorado, E. (1983). Estudio de los compuestos húmicos de diversos tipos de compost preparados a partir de paja de trigo Revista: Agrochimica, Vol. 27
- Alonso, J. A. (2001). Aspectos de la degradación del medio ambiente: su influencia en el clima. Papeles de geografía, 34, 17-49.
- Álvarez Sánchez, Ma. Edna. (1996). Recuperación del fertilizante fosfatado por cultivos con diferente sistema radical. Tesis de Doctor en Ciencias. Programa de Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. México.
- Anaya, M. 2003. La desertificación en México: Lineamientos estratégicos para su prevención y control. En: "Diálogo Internacional sobre Políticas en Materia de Vulnerabilidad al Cambio Climático". Zacatecas, Zac. 16 p
- Andrade, L. (2012). Producción y ambiente en la Meseta Central de Santa Cruz, Patagonia austral en Argentina: desencadenantes e impacto de la desertificación*. Ambiente y Desarrollo, 16(30), 73-92.
- Apolo, M. E. (2012). Germinación en laboratorio e influencia de los hongos micorrízicos y la aplicación de nutrientes en el crecimiento de dos procedencias de cinchona pubescens, a nivel de invernadero. tesis Doctoral. Universidad Nacional de Loja.
- Arriaga R. M. (1994). Research and Development of Fruit Trees of the Salvador Sanchez Colin Foundation, CICTAMEX, S.C.
- Arshad, M.A. y Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: physical and chemical criteria. American Journal of Alternative Agriculture 7:25–31.

- Atlas, R. M. (1984). *Microbiology. Fundamentals and Applications*. McMillan Publishing Company, New York, New York. Duchaufour, Edafología. 1. Edafo-génesis y Clasificación. Ed. Masson, S. A. Barcelona.
- Avalos, H. C., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, (83), 5-71.
- Badii, M., y Landeros, J. (2007). Plaguicidas que afectan a la salud humana y la sustentabilidad. *CULCyT*, 4(19), 21-34.
- Ban Ki-Moon, (2011), Asamblea General de Naciones Unidas sobre “Abordar la desertificación, degradación de la tierra y sequía en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza.
- Barceló Quintal, I. D., Bussy Beaurain, A. L., Solís Correa, H., Allende Abreu, I., & González Cortés, C. (2000). Caracterización y comportamiento como secuestrante de metales del sedimento superficial de la presa José Antonio Alzate, México. In *Américas y la acción por el medio ambiente en el milenio*(pp. 1-10). ABES.
- Barón, R.; Benítez, I. C. y González, J. L. (1995). Influencia de la dosis creciente de un abono orgánico en un cultivo de trigo. *Revista: Agrochimica* Vol. XXXIX, N° 5-6; Pp. 280-289
- Benites, E. T., Becerra, J. C., Sáenz, E. M., García, A. E., Hernández, A. L. S., & Piñón, M. E. D. (2003). Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca" El Josefino", Jesús María, Jalisco. *Terra Latinoamericana*, 21(1), 117-126

- Bernal, J. A., Diez, C. A. D., Tamayo, A., Cordoba, O. D. J., y Londoño, M. E. (2008). Condiciones Climaticas. Tecnología para el cultivo del aguacate. Corpoica.# 5
- Bernard J. Nebel, R. y Wright T. (1999). Ciencias Ambientales, Ecología y Desarrollo Sostenible. 6ª Ed. Pearson Prentice Hall.
- Bichier, P. (2006). La Agroforestería y el Mantenimiento de la Biodiversidad. Un artículo original de Action Bioscience Disponible en línea. org: <http://www.actionbioscience.org/esp/biodiversity/bichier.html>.
- Blaya, S. N., y García, G. N. (2003). Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Primera edición. Mundi-Prensa Libros.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas. 44:18-38.
- Bravo M.M., Mendoza M.E. Carlon, T. Saen, J. T., y Paez, R., (2012) Effects of converting forest to avocado orchards on topsoil properties in the trans-mexican volcanic system, México land degradation & development Land Degrad. Develop. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ldr.2163
- Burbano H. (1998). Las enmiendas orgánicas. En Fertilización de cultivos en clima frío. 2 ed. Bogota, Colombo Venezolanos S. A, pp. 363–403.
- Cadena, S. A. (2013). Efecto de Azolla sp., en la productividad y mejoramiento del suelo en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura.tesis doctoral. Unoversidsd técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.

- Cairo, P. C., de Armas, J. M., Martín, B. D., Sánchez, A. C., Hernández, A. R., Artiles, P. T., y Carrazana, R. J (2008). Evaluación de la degradación de los suelos de la región central de Cuba. Centro Agrícola, Vol. 35, No.1 P. 17-21.
- Cameron, K. C.; McLaren R.G. y Adams, J. A. (1989). Application of municipal sewage to low fertility forest soils: the fate of nitrogen and heavy metals. Soil Sci. Soc. AM. J. Pp 467-482.
- Campos Campos, O. (2013). Zonificación agroecológica del aguacate (*Persea americana* Mill. var. Hass) en la cuenca del Río Duero.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., y Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. Ciencia del suelo, 25(2), 173-178.
- Carlsen, L., Lassen, P., Warwick, P., Y Randall, A. (1994). Radiolabelled humic and fulvic acids: a new approach to studies on environmental fate of pollutants. Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier Science BV Amsterdam.
- Carpena, A. O. (1969). Estado actual de la química de las sustancias húmicas. anales de la Universidad de la universidad de Murcia. Ciencias Vol. 28, Nº 1-2-3-4. Curso 1969-70
- Chanderbali, A. S., Albert, V. A., Ashworth, V. E.T.M.,M. T. Clegg, Litz R. E., D.E. Soltis, y Soltis P. S. (2008). *Persea americana* (avocado): bringing ancient flowers to fruit in the genomics era. BioEssays 30:386–396.

- CORPOICA (2014). Actualización tecnológica y buenas prácticas agrícolas (bpa) en el cultivo de aguacate. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. ISBN: 978-958-8711-50-8 Segunda edición:
- Cossio, L. E., Salazar, S., González, I. J. L., y Medina, R. (2008). Fenología del aguacate'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. Revista Chapingo. Serie horticultura, 14(3), 319-324.
- Costa, J. H., y Lafuente, A. L. I. (2009). Degradación de suelo por contaminación y su repercusión en la salud humana. In Contaminación y salud. Edited by Villarejo, S.J.G.y.A.L.D. Real Academia Nacional de Farmacia.
- Cottenie, A. (1984). Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos de la FAO 38/
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Revista Ecosistemas, 13(2).
- Cruz, A. B., Barra, J. E., del Castillo, R. F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. Revista Ecosistemas, 13(2).
- Dubbini, G. (1995). Interés de los bioestimulantes. Revista: Hortoinformación, 9, 50-51.
- Egawa, T. 1977. Properties of soils derived from volcanic ash. pp. 11-64. In: Y. Ishizuka y C.A. Black (ed.). Soils derived from volcanic ash in Japan. Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT). México, DF

- Escarria Rodriguez, J. M. (2012). Characterization for agricultural sustainability and food security of the soil in the township of Cauca municipality of Cartago, departament of Valle del Cauca Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.
- Espinoza, F. H. R., Labrador, P. M., La Paz, O. C., Salgado, S. Z., y Larios, L. F. (2007). Efectos de los sistemas de manejo en el estado físico de un suelo arenoso (Yermosol Háptico) de una Zona Árida de Baja California Sur, México. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(1), 74-76.
- Estévez, V. S. (2006). Efectos de la aplicación de tres ácidos Húmicos Comerciales con diferentes dosis en el cultivo de Brócoli (*Brassica Oleracea* var. *italica*) en la hacienda Pastaví, cantón Otavalo, Parroquia Quichinche. Tesis Doctoral. Universidad de Panamá.
- FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. Proyecto FAO- SWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Lica.
- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. (No 81) Lica.
- Felipó T. (2002). Utilización de materia orgánica residual urbana en la recuperación de suelos degradados. Curso de Agricultura y Medio Ambiente: Nuevos Avances en Conservación y Manejo de Agro-sistemas. Barcelona, Unitat de Edafología, Universidad de Barcelona, 10 p
- Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V. y Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como

indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del suelo*, 27(1), 103-114.

- FHIA (2008). MANUAL TECNICO DEL CULTIVO DEL AGUACATE HASS (Persea americana L.)
- Figueroa, S.B. (1991). Agricultura sostenible y deterioro ambiental. La erosión del suelo. En: Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Agricultura sostenible. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. pp. 357.
- Figueroa, S.B. y Morales F. (1992). Manual para la producción de cultivos con labranza de conservación. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados. México. D.F. 273 p.
- Fitz Patrick E. A. (1992). Suelos. Su formación, clasificación y distribución. 1ª Ed. CECSA
- Follett, R. F. (1985). Soil erosion and crop productivity (pp. 137-162). Madison,, Wisconsin: American Society of Agronomy.
- Fraga, G. (2005). Validación del producto comercial "Bacthon SC+ Tricho _D" para la obtención de bioabono in situ de subproductos de banano. Tesis Doctoral, Universidad Internacional SEK.
- Fregoso T. L.E., J.R. Salinas G., J.M.Cabrera S., J.E. Morrison Jr., W. Lepori. (2002). Efecto de sistemas de labranza sobre la calidad de vertisoles en el Bajío. Publicación técnica No.1. CENAPROSINIFAP-SAGARPA. 42 p.
- Frioni, L. (1999). Procesos microbianos. Editorial de la Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto, primera edición.

- Fuentes, J. L. (1999). El suelo y los Fertilizantes. Eds. Mundi -Prensa y Ministerio de Agricultura y Pesca. Madrid. 352 pp
- Gallardo L. J. F. (2008). Medio ambiente en Iberoamerica. Visión desde la física y la química en los árboles del siglo XXI. Tomo III. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España.
- Gallardo, J.F. (1980). El Humus. Revista: Investigación y ciencia. Vol. 46, pp. 8-16
- García, A. G. (2009). Evaluación de la degradación de los suelos naturales de la isla de Tenerife: secuencias edáficas evolutivas y regresivas Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna. España.
- García, A. (2008). La materia orgánica (MOS) y su papel en la lucha contra la degradación del suelo. In Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador, Memorias.
- García, I. y Dorronsoro C. (2000). Contaminación del suelo. Curso: Tecnología de Suelos. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada. España
- Gardezi, A.K., Barcelo, I.D., Cetina, V.M., Bussy, A.L. y Borja M.A. (2004). Studies of Phytoremediation by *Leucaena leucocephala* in association with arbuscular endomycorrhiza and *Rhizobium* in soil polluted by Cu. The 8th world MultiConference on Systemics, cybernetics and informatics, Orlando Florida, U. S A. Vol XV pp 33-39.
- Gazit, S. y Degani, C. (2002). Reproductive Biology, pp. 101-127. En Wiley AW, B Schaffer y BA Schaffer. The avocado: botany, production and uses. CABI Publishing. Oxon

- Gómez, A. (2000). Agricultura orgánica: Una alternativa posible. Domínguez, A. y RG Prieto (coordinadores) "Perfil Ambiental del Uruguay". NORDAN. Montevideo, Uruguay, 14-30. Perrazolli
- Granda, P. (2006). Monocultivos de árboles en Ecuador. Montevideo: World Rainforest Movement. Edición. Ersilia Fonseca.
- Gutiérrez M., Lara M.B.N., Guillen H. y Chavez A. T, (2010), Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México INTERCIENCIA, Vol. 35 núm. 9.
- Henao, H.S. y Corez, D.G. (1991). Plaguicidas inhibidores de las colinesterasas. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Serie vigilancia número 11. Metepec, México. 60 p.
- Hernández A., Morales M., Cabrera A., Ascanio M. O., Borges Y., Vargas D. y Bernal A., (2013), Degradación de los suelos ferralíticos Rojos lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de la Habana, Cultivos Tropicales, Vol. 34, No. 3, P. 45-51
- Herrick, J. E., Brown, J. R., Tugel, A. J., Shaver, P. L., & Havstad, K. M. (2002). Application of soil quality to monitoring and management. *Agronomy Journal*, 94(1), 3-11.
- Holtz, U. (2003). La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) y su dimensión política. Quinta mesa redonda de parlamentarios, Bonn. 14 pp. Consultado el 12 de octubre de 2013 en [http://www.unccd.int/parliament/data/bginfo/PDUNCCD\(spa\).pdf](http://www.unccd.int/parliament/data/bginfo/PDUNCCD(spa).pdf)
- <http://www.cervantesvirtual.com/FichaObra.html?Ref=3979&ext=pdf>

- http://www2.ine.gob.mx/emapas/lch_geomorfo.html
- <http://www2.ine.gob.mx/emapas/regionales.html>
- ICBF. (2009). Alternativas de árboles frutales para proyectos de infraestructura. Políticas de Calidad arquitectónica.
- Idowu, O. J., Van Es, H. M., Abawi, G. S., Wolfe, D. W., Schindelbeck, R. R., Moebius-Clune, B. N., y Gugino, B. K. (2009). Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management impacts. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 24(03), 214-224.
- Ish-Am G. y D Eisikowitch. (1991). New Insight into Avocado Flowering in Relation to Its Pollination. *California Avocado Society Yearbook*, 75: 125-137.
- Jiménez, R. P. (1987). Plagas y enfermedades que limitan la producción del aguacate y su control en el estado de Michoacán. *UCAIM. Revista*, (10).
- Jiménez, S.L. (1993). La agricultura tradicional en el marco global y dimensiones del desarrollo sostenible. En: *Memorias del I Simposio Internacional y II Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible: Importancia y contribución de la Agricultura Sostenible*. CEICADAR, Puebla, Colegio de Postgraduados, México. p. 3-12.
- Jimeno, G. T., y Herrero, M. (1998). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Material curricular para su aplicación en el aula. Colección Economía y Naturaleza. Serie "Textos Aplicados"*. Fundación Argentario-Visor Dis. Madrid.
- Jordán Díaz, C , Pizarro Tapia, R., Tapia Cornejo, M., Arellano, L. R., & Farías Daza, C. (2006). Coeficientes de escorrentía instantáneos para la

cuenca del río Tutuvén, VII Región del Maule, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 27(2), 83-91.

- Juárez, M. (1996). Fósforo en agricultura, universidad de Alicante. España
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., Y Bello, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.
- Kolmans, E. y Vásquez, D. (1996). Manual de agricultura ecológica. Una introducción a los principios básicos y su aplicación. MAELA-SIMAS. Nicaragua.
- Kononova, M. M. y Muntan, E. B. (1982) *Materia Orgánica del suelo, su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Oikos yau, s.a. Barcelona.
- Krebs, L. (2003). Respiración del suelo como herramienta para evaluar calidad de fondos en acuicultura. I. Desarrollo de un protocolo estándar para medir dióxido de carbono. Tesis Doctoral. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Labrador, J. (1996). La materia orgánica en los agrosistemas. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y ed. Mundi-Prensa. Madrid. 174 pp.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., y Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4), 261-269.
- Lancho, J. G. (2007). Conclusiones del IV Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. *Revista Ecosistemas*, 16(2). Gallardo

- Lanly, J. P. (2003). Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques. séptimo congreso forestal mundial. Quebec Canada
- Lemus, G., Ferreyra, R., Gil, P., Maldonado, P., Toledo, C., y Barrera, C. (2010). El cultivo del palto. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. Boletín INIA, 129.
- León G de J., Hernández C., Peña F., Riverol M. y Bernal Y., (2005), Efectos de los sistemas de manejo sobre el estado físico de un suelo pardo grisáceo (Inseptisol) del Escambray, Centro Agrícola, Vol 32. No 1.
- López, B. F. (1994). Degradación del suelo ¿Fatalidad climática o mala gestión humana? Hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo. Papeles de Geografía, nº20, págs. 49-64.
- López, R. (2000). Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- Macías, A. M. (2011). México en el mercado internacional de aguacate. Revista de Ciencias Sociales, 17(3).
- Marticorena, M. G. El impacto ambiental del proyecto minero Conga: más allá de lo enunciado. Agroecología revista de agroecología 27 (4).
- Martínez, E.; Fuentes, J. P. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal, 8(1), 68-96.
- Martínez, H. B. (2007), Principios de la ciencia del suelo. Departamento de suelos, área de pedología. Chapingo México.

- Mas, P., y Rodríguez, J. I. (2011). Estudio comparativo de fósforo y potasio en suelos de la Cataluña central con manejo convencional y ecológico. Tesis de Maestría. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Mataix, S. J. (1999). Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis PH-D. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. España.
- Mendoza, J. M. (2010). El abandono del manejo tradicional aumenta la diversidad arbórea en los sabinares albares. In Congresos Forestales.
- Miranda, E., Zulueta, B.B., Otero, A.E. y Cabrera, E.A. (2007). Evaluación del potencial productivo de los suelos en áreas de la cooperativa Máximo Lugo de San Juan y Martínez, pinar del río Cuba. Centro Agrícola, Vol.34 No., 4 P. 31-40.
- Murray, R. M., Bojórquez, J. I., Hernández, A., Orozco, M. G., García, J. D., Gómez, R., y Ortega, A. (2011). Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. Revista Bio Ciencias.
- Navarro, A. (2010). Indicadores físicos de un suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos, tesis Doctoral. COLPOS Edafología. Montecillos. Edo, México.
- Navarro, N. (1988). El potencial redox y su influencia en las propiedades químicas de los suelos en condiciones de inundación tesis Doctoral. Instituto de suelos. Ciudad de la Habana.
- Ocio, J. A. y Brookes P. C. (1990) Soil Biological. Biochemistry Vol. 22, pp 685

- Ongley, E. D. (1997). Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos (No. 55). Food & Agriculture Org.
- Ortega, P. R. (1991). Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. 295-307.
- Ortiz, S. M., Anaya, G., y Estrada, B. W. (1994). Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra. Chapingo: Colegio de Postgraduados. Comisión Nacional de Zonas Áridas. Chapingo. México
- Ovalles, J. F0000000000000000. (2003). Valor nutritivo de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente de aminoácidos y su estimación cuantitativa mediante cromatografía en fase reversa (HPLC) y derivatización precolumna con o-ftalaldehído (OPA).
- Pajares S. y Gallardo J. F., (2010). Impacto de prácticas de manejo agrícola sobre la distribución de nitrógeno orgánico en un acrisol, *TERRA LATINOAMERICANA* vol. 20 núm. 2.
- Papendick R. I. y Parr J. F (1992). Soil quality, The key to a sustainable agriculture. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7.
- Peralta, J. M., Ulla, E. L., Zamudio, N. M. y Borioni, R. H. (2014) Rizobacterias solubilizadoras de fosfatos inoculadas en dos cvs. de batata (*Ipomoea batatas* L. (Lam). *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*, 34(2).
- Pérez, A. B.; Porcuna, J. L. y Labrador, J. (2002). Manual de agricultura y ganadería ecológica. Eumedia

- Peter E.V. Charman y Brian W. M. (2007) Soils: their properties and management / edited by Peter E.V. Charman and Brian W. Murphy. 3rd Ed. 461 pp., Oxford University Press.
- Piccolo, A., & Mbagwu, J. S. C. (1997). Exogenous humic substances as conditioners for the rehabilitation of degraded soils. *Carbon*, 36, 62-9.
- Porta, C.J.; López, R. M. Y Roquero de Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 929 pp
- Quiroga, A., Funaro, D., Noellemeyer, E. Peinemann, N., (2006). Barley yield response to soil organic matter and texture in the pampas of Argentina. *Soil & Tillage Research* 90:63-68.
- Ramírez, J. F., Solares, V. M., Figueroa, D. K., y Sánchez, J. R. (2013). Comportamiento espacial de trips (Insecta: Thysanoptera), en plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill.) en Zitácuaro, Michoacán, México. *Acta zoológica mexicana*, 29(3), 545-562.
- Ramírez, M. E., Limas, E. A., Ortiz, P. R., & Díaz, A. R. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de Geografía*, 53(54), 77-88.
- Reyes, R F. (2011). Efecto de la aplicación continuada de restos de cultivo en las propiedades físico-químicas del suelo en una finca de olivar situada en el t.m. de ibros (jaen)" Tesis de Licenciatura. Universidad de Almería. España.
- Richter, M., Conti, M., & Maccarini, G. (1982). Mejoras en la determinación de cationes intercambiables, acidez intercambiable y capacidad de intercambio catiónico en suelos. *Rev. Fac. Agronomía*, 3, 145-148.

- Rincon, L.M (2010). Caracterización fisicoquímica de algunos suelos de la zona de los municipios de Villanueva y Barichara – Santander. Tesis de licenciatura. Universidad Industrial de Santander.
- Rivero, C. y E. Hernández. 2001. Efecto de la aplicación de dos tipos de compost en la evolución de CO₂ y la actividad de fosfatasa en un suelo inceptisol. *Venesuelos* 9: 24-32
- Romeu, R., y Hunter, A. (1982). Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. CATIE. Serie de materiales de enseñanza, (12).
- Roünd, R., k.; Guggenberg, K.; Haider, H.; Knicker, I.; Kögel-Knaber, H.-D.; Lüdeman, J.; Luster, W.; Zech M. y Spiteller. (1994). Recent advances in the spectroscopic characterization of soil humic substances and their ecological relevance. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk*, 157: 175-186.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., de León, J. P., y Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas, Montevideo, Uruguay.
- Ruiz, F.H., Marrero, r P., Cruz, O., Zamora S., Fenech, L., (2007), Efectos de los sistemas de manejo en el estado físico de un suelo arenoso (Yermosol Háplico) de Zona Árida de Baja California Sur, México, *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol 16.
- Ruiz, F.J.F., (1993). La agricultura orgánica. En: *Alternativas para el campo mexicano*. José Luis Calva, tomo II, México. pp. 152-181.
- Sacoto B. G. F. (2010). Respuesta fitotécnica de tres variedades de zantedeschia (*Zantedeschia, aethiopica* L. Spreng), a la aplicación de ácido giberélico y fertilización orgánica, en el Quinche, Provincia de Pichincha.

- Salazar, S., Cossio, L. E., y González, I. J. L. (2009). La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate'Hass' en huertos sin riego. *Agricultura técnica en México*, 35(4), 439-448.
- Sánchez C.S., De la Cruz T.E. y Rubí A.M. (1991). Avances en el programa de selección y mejoramiento genético del aguacate (*Persea americana* Mill.) en CICTAMEX
- Sánchez S. C. y Arriaga R. M. (1994). Situación Actual del Cultivo del Aguacate en México. *California Avocado Society. Yearbook* 78:61-74
- Sanders D.W. (1992). International activities in assessing and monitoring soil degradation. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, pp 17-24. doi:10.1017/S0889189300004392
- Santana, J. C. M., y Ulloa, F. E. F. (2013).The effect of organic byproducts of the jaggery production process on the physical properties of a sulfate acid soil. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 14(2), 207-2142
- Santibañez, C., Varnero, M. T., y Ginocchio, R. (2006). Mineralización de carbono y nitrógeno en relaves mineros acondicionados con biosólidos. *Medio ambiente en Iberoamerica. Visión desde la física y la química en los árboles del siglo XXI*, 3, 337-343.
- Santibañez, Q F. y Santibañez, V P. Cambio climático y degradación de tierras en Latinoamérica y Chile Centro de Agricultura y Medio Ambiente (AGRIMED) Universidad de Chile fsantiba@uchile.cl
- Schnitzer, M. (1991). Soil organic matter, the next 75 years. *Soil Science* vol. 151, nº 1

- Schulze D.G. (1993). Significance of organic matter in determining soil colors. Soil Color. Special publication (31). Soil Sciencia Society of America. (p71-90) Madison, WI. USA.
- Schwertmann, U. (1993). Relations between iron oxides, soil color, and soil formation. Soil color, (soilcolor), 51-69.
- SEMARNAT, Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2006, con base en: SEMARNAT, Colegio de Postgraduados, Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana escala 1:250 000, México 2001-2002.
- SFA (2011). Monografía del aguacate. SAGARPA
- Shirley Geer (1992). Alarming Soil Degradation Around the World Revealed by Latest Data. Environmental Conservation, 19, doi:10.1017/S0376892900031106
- Silva, G. J. (2008). Evaluación de la calidad de vermicompost de lombrices rojas (*Eisenia foétida*) en diferentes sustratos". tesis de licenciatura. universidad Nacional de San Agustín. Arequipa- Peru.
- Simón Zamora J.I. (2013) Análisis Comparativo de Minerales en Aguacate Orgánico (var. Hass) y Ag. Convencional GAIA, SA DE CV.
- Soil Survey Staff. 2006. Key to Soil Taxonomy. USDA Tenth Edition. Washington DC. 341 pp.
- Solares, A. V. M., Ramírez, D. J. F., y Sánchez, P. J. R. (2011). Distribución espacial de Thrips (Insecta: Thysanoptera) en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.). Boletín del Museo de Entomología de la Universidad del Valle., 12(2).

- Soto, J. M. D., Gutiérrez, A. D. R., García, F. P., & Sandoval, O. A. (2011). Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. *Acta Universitaria*, 21(4), 92-100.
- Stevenson, J. L. y Snhnutzer, M. (1982). Transmission electron microscopy of extracted fulvic and humic acid. *Soil Sci.* 133: 179 –185
- Studdert, G. A., Echeverría, H. E., & Andrade, F. H. (2001). Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del suelo*, 19(1), 47-56.
- Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. In *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. OPS.
- Thompson, L. M., Y Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverté.
- Tinoco, P. y Almendros, G. (2000). Caracterización molecular de la materia orgánica de suelos afectados por distintos tipos de degradación en la Comunidad de Madrid. Tesis PhD. Universidad Autónoma de Madrid.
- Topp G. C. (1993) Soil water content. In: soil sampling and methods of analysis. Martin R. Carter Editor. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. Pp. 541-557.
- Urbano, T. P. (2001). *Tratado de fitotecnia general*. Ed. Mundi Prensa. Madrid. 2ª edición. 895 pp
- Varaninl, Z. y Pinton, R. (1995). Humic substances and plant nutrition *Progress in Botany*, Vol.56, N° 97 Pp.116.

- Velázquez, J. D. J., Bahena, F., Báez, A., & Fregoso, L. E. (2011). La labranza de conservación y los indicadores de calidad de suelo en el Valle Morelia-Queréndaro, Michoacán.
- Videla, L. S., Rostagno, C.M. y Toyos, M. A., (2008), La materia orgánica particulada: Comparación de métodos para su determinación y su valor como indicador de calidad de suelos del chubut, *Ci suelo (Argentina)* Vol. 26, No. 2 P. 219-227.
- Villalaz, C. C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Editorial Limusa.
- Villarreal, N. J. E. (2010). *Determinación de un índice de calidad del suelo en áreas productoras de banano (musa x paradisíaca l.) de la vertiente del pacifico de panamá*. Tesis de Maestría. Universidad de LLEIDA. Panama.
- Wershaw, R. (1993). Model for humus in soils and sediments. *Environmental science & technology*, 27(5), 814-816.
- Whiley, A. W., Saranah, J. B., Cull, B. W. y Pegg, K. G. (1988). Manage avocado tree growth cycles for productivity gains. *Qld. Agric. J.* 114(1): 29-36.
- Wolstenholme, B. N. y Whiley, A. W. (1989). Carbohydrate and phonological cycling as management tools for avocado orchards. *South African Avocado Growers' Assn. Yrbk.* 12: 33-37.
- Zapata, R. D. (2006). *Química de los procesos podogenéticos del suelo*. Escuela de geo-ciencias facultad de ciencias. Universidad Nacional de Colombia.